

## Tagungsband der internationalen Konferenz

### *Proceedings of the international conference on*

#### Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring - Modellierung - Management

Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus  
zu erwartender Herausforderungen

#### Diffuse Inputs into the Groundwater: Monitoring - Modelling - Management

Agriculture and Water Management in the Light of  
Future Challenges



Die Zusammenstellung, Produktion und die Vervielfältigung des Tagungsbandes wurden von der Firma UMS-GmbH (München) und Waterpool gesponsert.

*The compilation, production and copying of the proceedings were sponsored by UMS-GmbH (Munich) and Waterpool.*



## Contents

### **Block I Diffuser Stoffeintrag in das Grundwasser und dessen quantitative Prognose/Diffuse Inputs into the Groundwater and Their Quantitative Prediction**

#### **Session 1 Modellierung des Wasserhaushalts und des Transports in der ungesättigten Zone/Modelling of Water Budget and Transport in the Unsaturated Zone**

- Stumpp, Christine (GSF Neuherberg), P. Maloszewski, J. Fank, W. Stichler:**  
Identification of the Heterogeneity in Water Transport through the Unsaturated Zone of Lysimeters Using  $^{18}\text{O}$ -Oxygen
- Szyska, Brigitta (Universität Gießen), L. Breuer, M. Bach, H-G. Frede, K. B. Vaché:**  
Indikatoren für eine nachhaltige Landnutzung – Modellkopplung zur Abschätzung von N-Emissionen aus der Pflanzenproduktion
- Klöcking, Beate (Bureau of Applied Hydrology, Munich), F. Suckow, S. Knoblauch, B. Beudert:**  
Validation of an Eco-Hydrological River Basin Model by Using Measurement Series from Lysimeter and Intensive Monitoring Sites
- Fuchs, Gabriele (Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Vienna):**  
The Hydrographic Monitoring Network of the Unsaturated Zone in Austria (UZ Network)
- Feichtinger, Franz (Federal Agency for Water Management, Institute for Land and Water Management Research, IKT Petzenkirchen/BAW):**  
Regional Application of STOTRASIM for Modelling of Water and Nitrogen Dynamics in the Unsaturated Zone
- Gebel, Michael (TU Dresden), M. Kaiser, J. Ullrich, S. Bürger, K. Grunewald, S. Halbfaß:**  
Modellierung diffuser N-Einträge in die Grundwasserkörper des Freistaates Sachsen im Rahmen der Erstellung eines landesweiten Stoffatlas
- Franko, Uwe (UFZ Leipzig-Halle GmbH), M. Puhlmann, I. Prutzer:**  
Prognose der diffusen N-Austräge in das Grundwasser aus den Agrarflächen Sachsen-Anhalts

#### **Session 2 Modellierung von Gesamtsystemen - Koppelung der ungesättigten und der gesättigten Zone/Modelling of Entire Systems - Linking of the Unsaturated and Saturated Zone**

- Fastl, Georg (Weinbauschule Silberberg/Leibnitz), J. Robier:**  
Der Großparzellenversuch Wagna und dessen Bewirtschaftung (1987 – 2003)
- Kupfersberger, Hans (Joanneum Research/WRM, Graz):**  
Modelling of Groundwater Recharge and Nitrogen Input from the Unsaturated Zone at the Wagna Research Field (Modellierung von Grundwasserneubildung und Stickstoffeintrag aus der ungesättigten Zone am Versuchsfeld Wagna)
- Fank, Johann (Joanneum Research/WRM, Graz), G. Rock:**  
Modelling of Water Flow and Water Transport as the Basis for Predicting the Distribution of Diffuse Solute Input into the Groundwater
- Larsen, Ole (DHI Wasser & Umwelt GmbH):**  
Integrierte Betrachtung ungesättigte/gesättigte Zone in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten – Kopplung DAISY/MIKE SHE
- Walther, Wolfgang (vormals/formerly TU Dresden), C. Konrad, R. Well, T. Reimann:**  
Identification of Denitrification by Measurement of  $\text{N}_2$ , Ar and  $\text{N}_2\text{O}$  as Aid for the Modelling of the Nitrate Transport
- Gömann, Horst (Federal Agricultural Research Centre Braunschweig), P. Kreins, R. Kunkel, F. Wendland:**  
Integrated Agricultural and Hydrological Modelling within an Intensive Livestock Region Taking Supra-Regional Manure Transports into Account

**Casper, Markus (University of Trier)**, H. Lambrecht, J. Grimm-Strele, T. Gudera, S. Korte, N. Graveline,:  
Prognosis of Future Nitrate Input into the Upper Rhine Aquifer

## **Block II Ökonomisch sinnvolle, nachhaltige und grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen/Economical, Sustainable and Groundwater Protective Agricultural Management Systems**

### **Session 3 Perspektiven von Landwirtschaft und Grundwasserschutz/ Perspectives of Agriculture and Groundwater Protection**

**Bernsteiner, Albert (LFI Steiermark)**, J. Maßwohl:

Landwirtschaftliche Entwicklungschancen in Tallandschaften mit intensiver Grundwassernutzung (Murtal von Graz bis Bad Radkersburg)

**Köstenbauer, Heinz (Bio Ernte Austria):**

Der organisch-biologische Ackerbau und dessen versuchstechnische Umsetzung im Vergleich zur konventionellen ackerbaulichen Bewirtschaftung am Versuchsfeld Wagna

**Isermann, Klaus (Bureau of Sustainable Agriculture (BSA) Hanhofen)**, R. Isermann:

Sustainable Nutrient Management and its Impact on the Protection of Groundwater and Surface Water in the Danube River Basin and Black Sea

**Übleis, Thomas (Upper Austrian Water Protection Consulting)**, M. Höfferer:

Ground Water Protection – Compatibility of Ecological and Economical Aims

**Spiess, Ernst (Agroscope FAL Reckenholz)**, V. Prasuhn:

Ausmaß und Ursachen der sinkenden Nitratgehalte im Grundwasser des Kantons Bern

**Lanthaler, Christine (K.-F. University Graz):**

Modelling of Sustainable and Groundwater Protective Cropping System Using Long-term Scenario Simulations

**Gobiet, Andreas (Wegener Center for Climate and Global Change)**, H. Truhetz:

Scenarios of Climate Change for Southern and Eastern Styria and Potential Impacts on Agriculture and Water Availability

## **Block III Exkursion in die Süd- und Oststeiermark/ Excursion to Southern and Eastern Styria**

**Ober, Josef (Steirisches Vulkanland):**

Der Wandel von der Grenzregion zum Steirischen Vulkanland

**Glanz, Franz (Wasserverband Grenzland Südost):**

Konzepte zur Sicherung der Wasserversorgung in verstreuten Siedlungsräumen und zu erwartenden Klimaänderungen

## **Block IV Perspektiven zur Erfassung und Modellierung von Parametern des Wasser- und Stoffkreislaufs/Outlook on Measuring and Modelling Parameters of the Hydrologic Cycle**

### **Session 4 Grundlagen und Datenmanagement/ Basics of Measuring Techniques and Data Management**

**von Unold, Georg (UMS GmbH):**

Modulare Konzepte der Lysimetertechnologie für differenzierte Anwendungsbereiche und deren Einordnung in die Skalenproblematik

**Steins, Andreas (UMS GmbH):**

Anforderungen an die Messtechnik zur Umsetzung moderner Datengewinnungskonzepte

**Rock, Gerhard (Joanneum Research/WRM, Graz)**, J. Fank:

Weighable Monolithic Field Lysimeters at the Test Field Wagna: Collection of Measuring Data and Concepts for the Data Analysis

**Lanthaler, Christine (K.-F. University Graz), J. Fank:**  
Measuring Results at the Wagna Research Field – a Complex Dataset for Model Preparation and Validation on the Lysimeter Scale

**Kunkel, Ralf (FZ Jülich), F. Wendland, S. Hannappel, H. J. Voigt, R. Wolter:**  
The Influence of Diffuse Pollution on Groundwater Content Patterns for the Groundwater Bodies of Germany

**Schilling, Christian (Vienna University of Technology), M. Zessner, A. P. Blaschke, J.O. Skøien, D. Gutknecht, H. Kroiss:**  
Denitrification in Groundwater – Results from Investigations in two Austrian Case Study Regions

**Reimann, Thomas (TU Dresden), R. Liedl, W. Walther:**  
Transport of Solutes in the Transition Zone of Saturated and Unsaturated Underground

### **Session 5 Modellierung von Bodenwasserhaushalt und Stofftransport - Konzepte und Perspektiven/Modelling of Soil Water Budget and Solute Transport - Concepts and Perspectives**

**Durner, Wolfgang (TU Braunschweig), U. Jansen, S. C. Iden**  
Determination of Effective Parameters for Modelling Water Transport on the Lysimeter Scale

**Jansen, Ulrike (TU Braunschweig), W. Durner:**  
Modelling of Soil Water and Solute Transport on the Lysimeter Scale

**Böttcher, Norbert (TU Dresden), T. Reimann, J. Fank**  
Ansätze zur Modellierung der Wasserhaushaltskomponenten und des Stickstoffumsatzes in Lysimetern mit dem Modellpaket „Coupmodel“

**Stenitzer, Elmar (Federal Agency for Water Management, Institute for Land and Water Management Research, IKT Petzenkirchen/BAW), J. Fank:**  
“Tension-free“ Lysimeters versus “Controlled Tension“ Lysimeters – a Simulation Study

**Heuer, Antje (Universität Trier), M. Casper:**  
Konzept zur flächenhaften Umsetzung von Boden-Pflanze-Atmosphäre-Modellen (SVAT-Modellen)

**Pätsch, Matthias (DHI Wasser & Umwelt GmbH), W. Walther:**  
Heterogenität des Abbaus von Nitrat im Grundwasser – Berücksichtigung bei der Modellierung

**Alletto, Lionel (Ecole Supérieure d’Agriculture de Purpan, Toulouse), Y. Coquet, C. Labat:**  
Fate of Isoxaflutole and its Diketonitrile Metabolite under Conventional and Conservation Tillage in an Irrigated Continuous-Maize Field

**Pütz, Thomas (FZ Jülich), H. Rützel, H. Vereecken:**  
Validierung der Sickerwasserprognose mit den Materialien Hausmüllverbrennungsasche, Abbruchmaterial und PAK-belastetem Boden in Großlysimetern

### **Session 6 Zusammenfassung und Schlussdiskussion/ Conclusion and Discussion**

**Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz):**  
Anforderungen an die boden- und grundwasserhydrologische Forschung um künftigen Herausforderungen im Konnex Landwirtschaft und Grundwasserschutz gerecht werden zu können

**Block I Diffuser Stoffeintrag in das Grundwasser und dessen quantitative Prognose/  
Diffuse Inputs into the Groundwater and Their Quantitative Prediction**

**Session 1 Modellierung des Wasserhaushalts und des Transports in der ungesättigten Zone/  
Modelling of Water Budget and Transport in the Unsaturated Zone**

- Stumpp, Christine (GSF Neuherberg)**, P. Maloszewski, J. Fank, W. Stichler:  
Identification of the Heterogeneity in Water Transport through the Unsaturated Zone of Lysimeters Using 18-Oxygen
- Szyska, Brigitta (Universität Gießen)**, L. Breuer, M. Bach, H-G. Frede, K. B. Vaché:  
Indikatoren für eine nachhaltige Landnutzung – Modellkopplung zur Abschätzung von N-Emissionen aus der Pflanzenproduktion
- Klöcking, Beate (Bureau of Applied Hydrology, Munich)**, F. Suckow, S. Knoblauch, B. Beudert:  
Validation of an Eco-Hydrological River Basin Model by Using Measurement Series from Lysimeter and Intensive Monitoring Sites
- Fuchs, Gabriele (Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Vienna):**  
The Hydrographic Monitoring Network of the Unsaturated Zone in Austria (UZ Network)
- Feichtinger, Franz (Federal Agency for Water Management, Institute for Land and Water Management Research, IKT Petzenkirchen/BAW):**  
Regional Application of STOTRASIM for Modelling of Water and Nitrogen Dynamics in the Unsaturated Zone
- Gebel, Michael (TU Dresden)**, M. Kaiser, J. Ullrich, S. Bürger, K. Grunewald, S. Halbfaß:  
Modellierung diffuser N-Einträge in die Grundwasserkörper des Freistaates Sachsen im Rahmen der Erstellung eines landesweiten Stoffatlas
- Franko, Uwe (UFZ Leipzig-Halle GmbH)**, M. Puhmann, I. Prutzer:  
Prognose der diffusen N-Austräge in das Grundwasser aus den Agrarflächen Sachsen-Anhalts

# Identification of the Heterogeneity in Water Transport through the Unsaturated Zone of Lysimeters Using 18-Oxygen

C. Stumpp<sup>1)</sup>, P. Maloszewski<sup>1)</sup>, J. Fank<sup>2)</sup> and W. Stichler<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> GSF - National Research Center for Environment and Health  
Institute of Groundwater Ecology  
Ingolstaedter Landstrasse 1  
D-85764 Neuherberg – Germany

<sup>2)</sup> JOANNEUM RESEARCH  
Institute for Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## Summary

Determine water and solute transport with numerical modelling needs information about soil hydraulic parameters and is limited to homogeneous flow conditions. But in reality, soils are very complex systems of high heterogeneity. Therefore, a new method which combines mathematical modeling with environmental and hydrological data was investigated to estimate the heterogeneity of water transport through the unsaturated zone under natural atmospheric conditions. <sup>18</sup>O ratios in precipitation and outflow over nine years (1992-2000) were used to determine transit time distribution in a lysimeter at the Wagna research station. The maize monoculture vegetation periods had to be considered separately every year due to strong changes in outflow amounts. In the time between the maize vegetation periods only one mean transit time and dispersion parameter in general was able to describe the <sup>18</sup>O transport. Due to transient flow conditions the results were compared with numerical modeling. Finally, the transit time distribution functions were used to construct vulnerability diagrams that also show the amount of preferential flow.

## Zusammenfassung

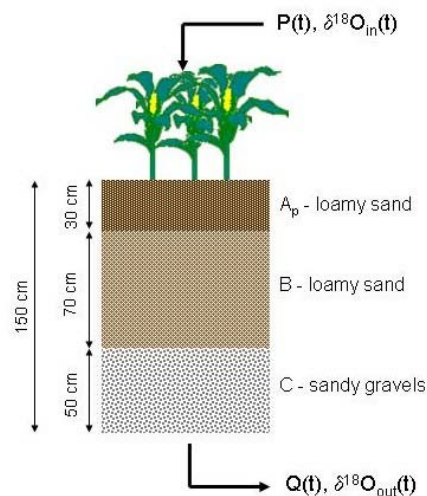
Wasser- und Stofftransport in der ungesättigten Zone benötigt Informationen über die hydraulischen Parameter und ist beschränkt auf homogene Fließbedingungen. Aber tatsächlich sind Böden sehr heterogen. Deshalb wird hier eine neue Methode präsentiert, die mathematische Modellierung mit Umweltsotopen und hydrologischen Daten verbindet, um die Heterogenität im Wassertransport der ungesättigten Zone unter atmosphärischen Bedingungen zu bestimmen. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Regen und Lysimeterabfluss über neun Jahre (1992-2000) wurde benutzt, um die Verweilzeitverteilung in einem Lysimeter der Forschungsstation Wagna zu bestimmen. Die Vegetationsperioden der Maismonokultur mussten für jedes Jahr einzeln betrachtet werden, weil die Abflussmengen während dieses Zeitraumes stark schwankten. In der Zeit zwischen dem Maisanbau waren eine mittlere Verweilzeit und ein Dispersionsparameter ausreichend, um den <sup>18</sup>O Transport zu beschreiben. Wegen der transienten Fließbedingungen wurden die Ergebnisse mit der numerischen Modellierung verglichen. Schließlich wurden die Verweilzeitverteilungen berechnet und in Gefährungsdiagrammen dargestellt, die auch den Anteil des präferentiellen Flusses zeigen.

## Introduction

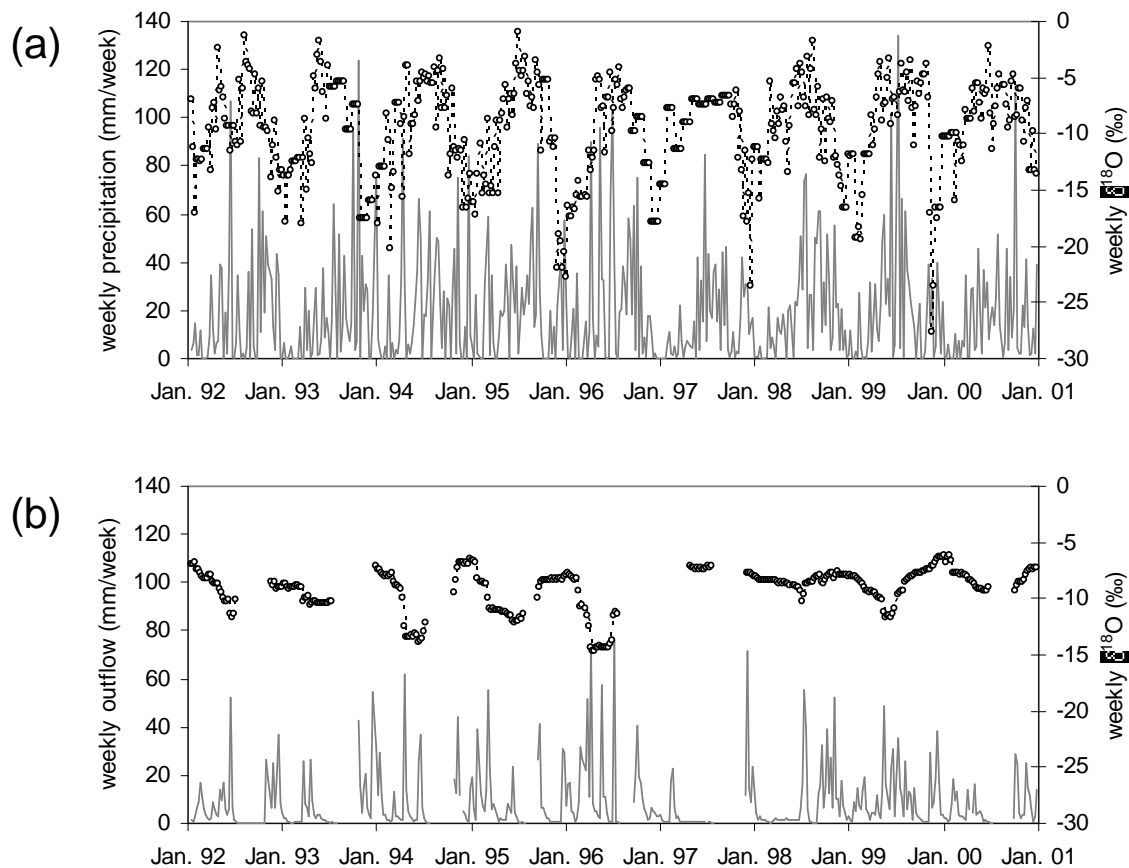
The estimation of the transport processes through heterogeneous unsaturated soils is of crucial importance for the protection of the groundwater. However, practically no satisfactory mathematical descriptions of the water flux heterogeneity exist. The heterogeneous medium provides, in its matrix, different-flow paths, characterized by different flow rates and velocities, which are very difficult to measure and to estimate. It seems that one of the possibilities to quantify the heterogeneity of the unsaturated zone might be by applying integrative modelling methods to environmental isotope data. These isotopes (e.g.:  $^3\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) were already used to qualitatively identify the water transport through the unsaturated zone (C. GAZIS & X. FENG, 2004; S. MACIEJEWSKI et al., 2006; P. MALOSZEWSKI et al., 2006; B. SWENSEN, 1997). Also quantitative determination of heterogeneity in bare soils was carried out (C. STUMPP et al., 2006). Here, a quantitative method is presented to determine the heterogeneity of water transport through the unsaturated zone of lysimeter experiments under agricultural crops.

## Material and Methods

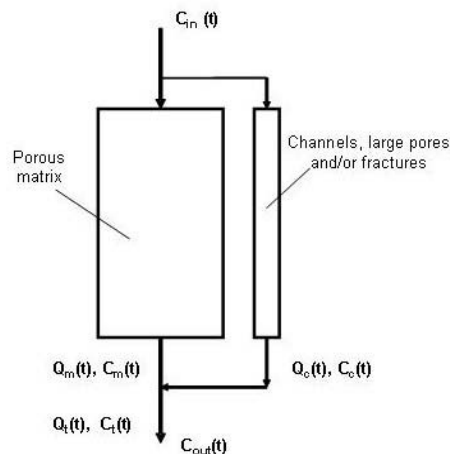
The lysimeters were operated at the research station Wagna. A detailed description of the test field is given in FANK (1999). Here, one of the lysimeter tanks (Fig.1) is under consideration, which contained an A-horizon (30 cm, loamy sand) followed by a B-horizon (70 cm, loamy sand). The last 50 cm were filled with sandy gravels. The area of  $1\text{m}^2$  was yearly planted with maize monoculture. Isotope ratios of  $^{18}\text{O}$ -Oxygen in precipitation and leachate were continuously measured over nine years (1992-2000) as well as the amounts of precipitation and leachate (Fig.2). The evapotranspiration was calculated using the FAO-56 method (R. G. ALLEN et al., 1998).



**Fig. 1.** Schematic experimental setup of the lysimeter with a length of 150 cm, surface area of  $1\text{m}^2$ , three different soil horizons and planted with maize monoculture (schematischer Aufbau des Lysimeters mit 150 cm Länge,  $1\text{m}^2$  Oberfläche, drei verschiedenen Bodenhorizonten und Bepflanzung mit Maismonokultur)



**Fig. 2.** Weekly input (a) and output (b) water fluxes and  $\delta^{18}\text{O}$  values (wöchlicher Input (a) und Output (b) der Wasserflüsse und der  $\delta^{18}\text{O}$  Werte)



**Fig. 3.** Conceptual model of water flow through a lysimeter considering preferential and matrix flow, where the input function  $C_{in}(t)$  is transformed into the output function  $C_{out}(t)$  (Konzeptionelles Modell des Wasserflusses durch ein Lysimeter mit der Berücksichtigung von präferentiell und Matrixfluss, wobei die Inputfunktion  $C_{in}(t)$  in eine Outputfunktion  $C_{out}(t)$  umgeformt wird)

To describe the water transport a method similar to MALOSZEWSKI et al. (2002) was used, where the water flow through the unsaturated zone was approximated by a two parallel systems: matrix and preferential flow-paths (Fig.3). The system complexity was simplified using a lumped parameter approach (P. MALOSZEWSKI & A. ZUBER, 1998) that combines an input and output function of environmental tracer contents with hydraulic measurements. The Dispersion Model



(DM) as distribution function yields the transit time distribution of  $^{18}\text{O}$  for the matrix-flow path, which describes both, the dispersive convective transport in the mobile component and possible diffusive exchange of tracer between mobile and stagnant water. The transport of environmental  $^{18}\text{O}$  in the preferential flow-path, which consists of channels, large pores and/or fractures, is considered for simplicity as convective flow, which in the lumped-parameter approach is described by the Piston Flow Model (PFM). This approach, normally used for steady state hydraulic conditions, is compared to numerical modeling of water and tracer transport using HYDRUS-1D (J. SIMUNEK et al., 2005).

## Results and Discussion

To determine the mean transit times of the matrix flow, the data set was split into the single maize and intercrop vegetation periods. For the intercrop periods one parameter set of mean transit time  $t^*$  and dispersion parameter  $PD^*$  was enough to give satisfactory approximations of the  $^{18}\text{O}$  ratios in the leachte over the whole period. Whereas for maize  $t^*$  and  $PD^*$  of every vegetation period had to be determined separately. This can be explained by strong variations in the amount of lysimeter's outflow  $Q$  during the vegetation periods. It varied from 8 mm to 280 mm. Therefore, the steady state based lumped parameter model is not able to give a mean transit time for maize in general. But regarding every year separately approximations for  $t^*$  and  $PD^*$  mostly can be made. The numerical modelling of water and solute transport yielded more exact results for transient flow conditions, but more information about the soil hydraulic parameters was needed. Combining both methods transit time distributions of  $^{18}\text{O}$  were calculated and depicted in a vulnerability diagram also giving information about preferential flow.

## References

- ALLEN, R. G., L. S. PEREIRA, D. RAES & M. SMITH (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome.
- FANK, J. (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Felde (Steiermark, Österreich).- *Beiträge zur Hydrogeologie*, 49/50: 101-388.
- GAZIS, C. & X. FENG (2004): A stable isotope study of soil water: evidence for mixing and preferential flow paths. *Geoderma*, 119(1-2): 97-111.
- MACIEJEWSKI, S., P. MALOSZEWSKI, C. STUMPP & D. KLOTZ (2006): Modelling of water flow through typical Bavarian soils (Germany) based on lysimeter experiments: 1. Estimation of hydraulic characteristics of the unsaturated zone.- *Hydrological Sciences Journal*, 51(2): 285-297.
- MALOSZEWSKI, P., S. MACIEJEWSKI, C. STUMPP, W. STICHLER, P. TRIMBORN & D. KLOTZ (2006): Modelling of water flow through typical Bavarian soils based on lysimeter experiments: 2. Environmental deuterium transport.- *Hydrological Sciences Journal*, 51(2): 298-313.
- MALOSZEWSKI, P., W. STICHLER, A. ZUBER & D. RANK (2002): Identifying the flow systems in a karstic-fissured-porous aquifer, the Schneetalpe, Austria, by modelling of environmental  $^{18}\text{O}$  and  $^3\text{H}$  isotopes.- *Journal of Hydrology*, 256(1-2): 48-59.
- SIMUNEK, J., M. SEJNA & M. T. VAN GENUCHTEN (1998): The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably-saturated media, Version 3.0.
- STUMPP, C., P. MALOSZEWSKI, W. STICHLER & S. MACIEJEWSKI (2006): Quantification of heterogeneity of the unsaturated zone based on environmental deuterium observed in lysimeter experiments.- *Hydrological Sciences Journal*, submitted.
- SWENSEN, B. (1997): Unsaturated flow in a layered, glacial-contact delta deposit measured by the use of  $^{18}\text{O}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Br}^-$  as tracers.- *Soil Science*, 162(4): 242-253.

# Indikatoren für eine nachhaltige Landnutzung – Modellkopplung zur Abschätzung von N-Emissionen aus der Pflanzenproduktion

Brigitta Szyska, Lutz Breuer, Martin Bach, Hans-Georg Frede und Kellie B. Vaché

Institute of Landscape Ecology and Resources Management  
University of Gießen  
Heinrich-Buff-Ring 26-32  
35392 Gießen – Germany

## Summary

In the DBU (German Federal Environmental Foundation) project “Development of Environmental Indicators for Sustainable Land Use” the REPRO Model (Reproduction of the soil organic matter), which is based on environmental indicators, is under improvement. Trace gas emissions such as N<sub>2</sub>O as indicators for sustainable agriculture are not yet included in the model. Hence, the REPRO Model will be linked with the DNDC (Denitrification Decomposition) model, to estimate (among others) N trace gas emissions for every specific field of a farm. Before the two models can be linked, DNDC must be calibrated for Mid-European conditions. According to the structure of DNDC the calibration of the model was done stepwise by calibrating each sub-model with an automatic calibration technique. At first a sensitivity analysis for all internal sub-model parameters based on a Monte Carlo (n = 200) simulation was done. The most sensitive parameters were selected with the help of multiple linear regression and a ANOVA analysis. In a second Monte Carlo simulation (n=10,000) randomised simultaneously for the calibration process. All model results of the sampled parameter values were evaluated by using different efficiency criteria. The results for the soil climate sub model of DNDC are shown in this presentation. Changes of the parameters for the calculation of soil temperature show high model efficiencies and a good fit to the observed values. The simulation of the soil temperature during winter could be enhanced. In this season soil temperature is important for modelling N-trace gas emissions during frost-thawing cycles. Underestimations of soil temperature during these cycles lead to underestimations of predicted N-trace gases.

## Einleitung

Um die Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebssysteme beurteilen zu können, benötigen Landwirte wie auch die Betriebsberatung geeignete Instrumente. Die Software REPRO (Reproduktion der organischen Bodensubstanz) (K. HÜLSBERGEN, 2002) stellt eines dieser Beratungsinstrumente dar. Zu dem derzeitigen Stand der Entwicklung können mit REPRO noch nicht alle Umweltbelastungen erfasst werden. Gerade der Beitrag der Landwirtschaft zur Klimaveränderung hat bisher noch keine Berücksichtigung gefunden, obwohl z.B. Emissionen von N-Spurengasen aus landwirtschaftlichen Flächen in den 90er Jahren in den Blickpunkt gerückt sind (S.E. MACHEFERT et al. 2002 und A. MOSIER et al. 1998).

Ziel ist es, im Rahmen des DBU Projektes „Indikatoren für eine nachhaltige Landnutzung“, neue Indikatoren (klimarelevante N<sub>2</sub>O-Emissionen) zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Landwirtschaftsbetrieben für das Programm REPRO zu entwickeln. Dieses soll durch die Kopplung von REPRO mit dem Denitrification-Decomposition Modell (DNDC) ermöglicht werden. Vor der Kopplung von REPRO und DNDC muss das DNDC Modell kalibriert und seine Ergebnisse unter mitteleuropäischen Boden- und Klimaverhältnissen validiert werden. Das Vorgehen und Ergebnisse der Kalibrierung des DNDC Modells werden am Beispiel des Bodenklimamoduls in diesem Beitrag dargestellt.

## Methoden

DNDC wurde schrittweise überprüft, um die Teilmodule Bodenklima, Mineralisation und Nitrifikation/Denitrifikation einzeln zu Kalibrieren und Validieren. Das verwendete Kalibrierungsverfahren basiert auf einer Monte Carlo Simulation und ist dem von K.J. BEVEN und A.M. BINLEY (1992) entwickelten GLUE Verfahren ähnlich. Mittels dieses Ansatzes soll ein optimaler Satz von Parametern herausgearbeitet werden.

Zunächst wurde mit allen in den jeweiligen Modulen befindlichen Parametern eine Sensitivitätsanalyse vorgenommen. Sämtliche Parameter wurden gleichzeitig variiert und ihre Werte mittels einer Monte Carlo (MC) Simulation aus einer uniformen Verteilung gezogen (A. SALTELLI et al., 2004). Die Anzahl der Modellläufe belief sich bei den Sensitivitätsanalysen für jedes Modul auf  $n = 200$ . Mit Hilfe einer multiplen linearen Regression und einer ANVOA wurden die sensitiven Parameter identifiziert. Diese Parameter wurden für die anschließende Kalibrierung herangezogen.

Für die Kalibrierung wurde eine MC Simulation mit 10.000 randomisierten und simultanen Ziehungen der Werte für die signifikanten Modellparameter durchgeführt. Die Evaluation der Modellergebnisse sowie die Auswahl des geeigneten Parametersatzes erfolgte mittels verschiedener Effizienzkriterien, die den Vergleich zwischen beobachteter und vorhergesagten Werten ermöglichten. Verwendete Effizienzkriterien: Index of Agreement  $d$  (C.J. WILLMOT, 1981), Nash-Sutcliffe-Efficiency,  $E$  (J.E. NASH und J.V. SUTCLIFFE, 1970), Bestimmtheitsmaß  $r^2$  und der Root Mean Square Error  $RMSE$ . Im Anschluss an die Kalibrierung wurden Validierungen durchgeführt. Dazu wurden die kalibrierten Module an einen anderen Standort getestet.

Für die Kalibrierung wurden Messungen von Untersuchungsflächen (Tabelle 1) aus verschiedenen Regionen Deutschlands verwendet. Für diese Flächen standen neben den Eingangsdaten, Messungen der Bodentemperatur und Bodenwassergehalte (in verschiedenen Bodentiefen) sowie Messungen zu  $CO_2$  und  $N_2O$ -Emissionen zur Verfügung. Die Kalibrierung des Bodenklimamoduls wurde für den Standort Gießen vorgenommen, die Mineralisation und die Nitrifikation/Denitrifikation wurden anhand von Versuchsflächen bei Göttingen kalibriert. Validierungen wurden auf den Flächen in Göttingen, Niedersachsen und Siggen, Baden-Württemberg durchgeführt.

Tabelle 1. Übersicht der zur Kalibrierung und Validierung verwendeten Standorte / Overview of the sites used for calibration and validation

Standort / Autor	Boden		Jahresniederschlag [mm]	Jahresmitteltemperatur [°C]	Kultur	Düngung [kg N ha <sup>-1</sup> ]
	Ton [%]	C <sub>org</sub> [%]				
Göttingen, Niedersachsen; F. Schmädeke, 1998	30,4	1,5	635	8,6	Winterraps-Winterweizen-Wintergerste	90 & 55 als NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
Gießen, Hessen; C. Kammann, 2001	16,0	2,8	644	9,9	Grünland / Schnittnutzung	40 als NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
Siggen, Baden-Württemberg S. N. Glatzel, 1999	28,9	4,7	1400	6,5	Grünland / Schnittnutzung	167 als Gülle

## Ergebnisse

Durch die Kalibrierung des Bodenklimamoduls konnten die Berechnungen der Temperatur und des Wassergehaltes im Boden deutlich verbessert werden. Zwar zeigen die Effizienzkriterien für die Berechnung der Bodentemperatur vor und nach der Kalibrierung keine allzu großen Veränderungen bezogen auf das gesamte Jahr (unkalibriertes Modul:  $d = 0,97$ ,  $E = 0,87$ ,  $r^2 = 0,92$  und  $RMSE = 2,26$  vs. kalibriertes Modul:  $d = 0,96$ ,  $E = 0,87$ ,  $r^2 = 0,94$  und  $RSME = 2,33$ ). Dennoch sind im Jahresverlauf deutliche Verbesserungen festzustellen. Zum einen werden die teilweise sehr starken Schwankungen der berechneten Bodentemperatur verringert und dem natürlichen Temperaturverlauf angepasst und zum anderen konnten die starken Unterschätzungen der Bodentemperatur in den Wintermonaten durch die Kalibrierung korrigiert werden (Fig. 1 und Fig. 2). Werden die Effizienzkriterien für die Zeiträume von Anfang Dezember bis Mitte Februar der

Messperiode verglichen, so zeigt sich eine deutliche Steigerung der Modellgüte von  $d = 0,79$ ,  $E = -0,47$ ,  $r^2 = 0,62$  und  $RMSE = 2,61$  auf  $d = 0,90$ ,  $E = 0,62$ ,  $r^2 = 0,71$  und  $RMSE = 1,35$  (Fig. 2). Die Validierung der kalibrierten Bodentemperatur zeigt sowohl auf dem Versuchsstandort in Siggen,

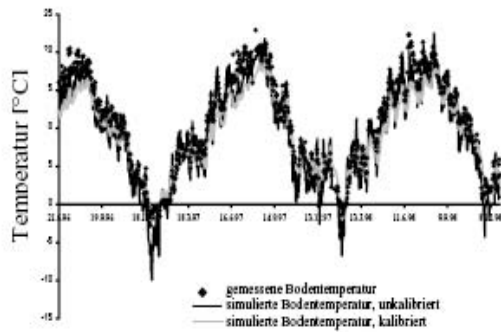


Fig. 1. Gemessene und simulierte Bodentemperatur für die Jahre 1996-1998 am Standort Gießen. / Measured and simulated soil temperature for 1996-1998 at Gießen.

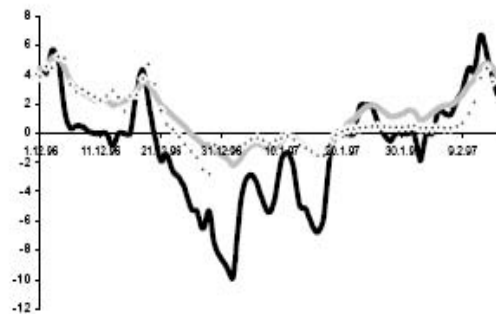


Fig. 2. Gemessene und simulierte Bodentemperatur im Winter 1996/97 am Standort Gießen. / Measured and simulated soil temperature during wintertime 1996/97 at Gießen.

Baden-Württemberg als auch auf dem bei Göttingen, Niedersachsen, in Teilen eine Verbesserung der Effizienzkriterien der Modellergebnisse nach der Kalibrierung. Siggen: unkalibriert:  $d = 0,97$ ,  $E = 0,88$ ,  $r^2 = 0,91$  und  $RSME = 2,30$  vs. kalibriert:  $d = 0,96$ ,  $E = 0,88$ ,  $r^2 = 0,94$  und  $RSME = 2,28$  und Göttingen: unkalibriert:  $d = 0,88$ ,  $E = 0,45$ ,  $r^2 = 0,66$ ,  $RMSE = 4,99$  vs. kalibriert:  $d = 0,88$ ,  $E = 0,58$ ,  $r^2 = 0,58$  und  $RMSE = 4,34$ . Auch bei den Validierungsflächen konnte eine deutlich verbesserte Anpassung der Bodentemperatur im Winter erreicht werden (Werte hier nicht gezeigt).

Die Berechnung des Bodenwassergehaltes konnte durch die Kalibrierung ebenfalls verbessert werden. Vor der Kalibrierung zeigte das Modell eine deutliche Unterschätzung der Feuchtigkeit im Boden, was auch durch die Effizienzkriterien verdeutlicht wurde ( $d = 0,50$ ,  $E = -1,91$ ,  $r^2 = 0,32$  und  $RSME = 0,27$ ). Nach der Anpassung konnte die Unterschätzung des berechneten Wassers im Boden vermindert, wie auch die zeitlichen Verläufe von Wassersättigung und Austrocknung des Bodens besser dargestellt werden ( $d = 0,68$ ,  $E = -0,47$ ,  $r^2 = 0,39$  und  $RSME = 0,18$ ; Fig. 3).

Die Übertragung der angepassten Bodenfeuchteberechnung des Bodenklimamoduls zeigte ebenfalls eine eindeutig verbesserte Vorhersage des Bodenwassergehaltes verglichen mit dem unkalibrierten Modul. Auch bei der Validierung ist zu sehen, dass das Niveau des berechneten Bodenwassergehaltes dem der Messung entspricht (unkalibriert:  $d = 0,28$ ,  $E = -13,89$ ,  $r^2 = 0,02$  und  $RSME = 0,40$  vs. kalibriert:  $d = 0,51$ ,  $E = -3,60$ ,  $r^2 = 0,17$  und  $RSME = 0,22$ ). Abweichungen zeigen sich teilweise bei dem Austrocknungsgrad des Bodens (Fig. 4).

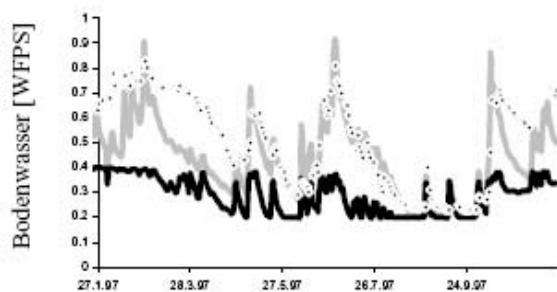


Fig. 3. Gemessener und simulierter Bodenwassergehalt für das Jahr 1997 am Standort Gießen. / Measured and simulated soil moisture content in 1997 at Gießen.

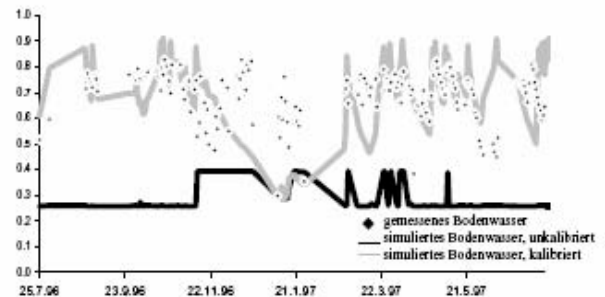


Fig. 4. Gemessener und simulierter Bodenwassergehalt für das Jahr 1997 am Standort Siggen. / Measured and simulated soil water content in 1997 at Siggen.

## Diskussion

Nach den ersten Validierungsergebnissen konnte die Berechnung von Bodentemperatur und -wassergehalt durch eine automatische Kalibrierung eindeutig verbessert werden. Die veränderten Parameter in den Berechnungsschritten im Bodenklimamodul zeigen sowohl für die Kalibrierungsflächen als auch für die Validierungsflächen hohe bzw. gute Modelleffizienzen. Die Simulationen der Bodentemperatur während des Winters konnte deutlich optimiert werden. Die gerade in dieser Jahreszeit vorkommenden kurz aufeinanderfolgenden Frost-Tau-Wechsel spielen eine bedeutende Rolle bei der Freisetzung von Lachgas. Bei Temperaturwechsel um den Gefrierpunkt können N<sub>2</sub>O-Verluste entstehen, die bis zu 50 % der gesamten Jahresemission ausmachen können (H. FLESSA et al., 1998; R. RUSER et al., 2001; C. MÜLLER et al., 2002). Ausschlaggebend für die hohen Verluste an Lachgas bei kurzzeitigem Auftauen des Bodens sind hohe Gehalte an leicht umsetzbaren organischen Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen der Böden, die während der Frostperiode angereichert wurden und dann sehr schnell von anwachsenden Mikroorganismenpopulationen umgesetzt werden können. Da das Modell zuvor in den Wintermonaten latent zu geringe Bodentemperaturen berechnet hatte, konnte es somit auch keine Frost-Tau-Wechsel im Boden abbilden.

Analog zu den Frost-Tau-Wechsel bedingen auch Unterschiede in der Bodenfeuchte (Trocken-Nass-Zyklen) einen wesentlichen Einfluss auf die N<sub>2</sub>O-Emissionen (K.R. REDDY und W.H. PATRICK, 1975). Gerade die denitrifikatorische N<sub>2</sub>O-Produktion ist abhängig von der Größe der anaeroben Bereiche im Boden. Somit tragen falsch berechnete Bodenwassergehalte ebenfalls zu einer ungenauen Abbildung der N<sub>2</sub>O-Emissionen in DNDC bei. DNDC hatte vor der Kalibrierung latent zu geringe Bodenwassergehalte für die Böden berechnet. Durch die Verbesserungen der berechneten Bodenwassergehalte, ist ebenfalls ein Beitrag geleistet worden die N<sub>2</sub>O-Emissionen mit DNDC im Jahresverlauf exakter zu berechnen.

## Literatur

- BEVEN, K.J. & A.M. BINLEY (1992): The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. - *Hydrol. Process*, 6, 279-298.
- FLESSA, H., U. WILD, M. KLEMISCH & J. PFADENHAUER (1998): Nitrous oxide and methane fluxes from organic soils under agriculture. - *Europe. J. Soil Sci.*, 49, 327-335.
- GLATZEL, S.N. (1999): The greenhouse gas exchange of grassland agroecosystems (Umsatz klimarelevanter Gase in Agrar-Ökosystemen unter Grünland). - In KANDELER E., KAUPENJOHANN M., STAHR K. (Hrsg., 1999): Hohenheimer bodenkundliche Hefte - Heft 52, 184 S.
- HÜLSBERGEN, K.J. (2002): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. - 278 S., Aachen (Shaker).
- KAMMANN, C. (2001): Die Auswirkung steigender atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Flüsse der Klimaspurengase N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> in einem Grünlandökosystem. - Dissertation., 224 S., Gießen.
- MACHEFERT, S.E., N.B. DIESE & K.W.T. GOULDING (2002): Nitrous oxide emission from a range of land uses across Europe. - *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 6(3), 325-337.
- MOSIER, A., C. KROEZE & C. NEVISON (1998): Closing the global N<sub>2</sub>O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle - OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. - *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 52(2-3), 225-248.
- MÜLLER, C., M. MARTIN, R.J. STEVENS, R.J. LAUGHLIN, C., KAMMANN, J.C.G. OTTOW & H.-J. JÄGER (2002): Processes leading to N<sub>2</sub>O emissions in grassland soil during freezing and thawing. - *Soil Biol. Biochem.*, 34, 1325-1331.
- NASH, J.E. & J.V. SUTCLIFFE (1970): River flow forecasting through conceptual models, Part I – A discussion of principles. - *J. Hydrol.*, 10, 282 – 290.
- REDDY, K.R. & W.H. PATRICK (1975): Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil. - *Soil Biol. Biochem.*, 7, 87-94.
- RUSER, R., H. FLESSA, R. SCHILLING, F. BEESE & J.C. MUNCH (2001): Effect of crop-specific field management and N fertilization on N<sub>2</sub>O emissions from a fine-loamy soil., *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 59, 177-191.
- SALTELLI, A., K. CHAN & E.M. SCOTT (2004): Sensitivity Analysis. - Weinheim, (Wiley – VCH Verlag GmbH), 447 S.
- SCHMÄDEKE, F. (1998): Lachgas- und Methanflüsse eines Gley-Auenbodens unter dem Einfluß einer Rapsfruchtfolge und in Abhängigkeit von der N-Düngung. - Dissertation., 139 S., Göttingen.
- WILLMOT, C. J. (1981): On the validation of models - *Phys. Geo.*, 2, 184-194.

# Validation of an Eco-Hydrological River Basin Model by Using Measurement Series from Lysimeter and Intensive Monitoring Sites

B. Klöcking<sup>1</sup>, F. Suckow<sup>2</sup>, S. Knoblauch<sup>3</sup>, B. Beudert<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bureau of Applied Hydrology, Murnauer Str. 102a, D-81379 München – Germany

<sup>2</sup>Potsdam Institute for Climate Impact Research, P.O. Box 601203, 14412 Potsdam – Germany

<sup>3</sup>Thuringian State Institute of Agriculture, Naumburger Str. 98, D-07743 Jena – Germany

<sup>4</sup>NPV Bayerischer Wald, Freyungerstr. 2, D-94481 Grafenau – Germany

## Zusammenfassung/Summary

In der modernen Flussgebietsbewirtschaftung sind neben den Wasserflüssen auch Wasserinhaltsstoffe wie z.B. gelöste Stickstoffkomponenten zu berücksichtigen. Dazu wurde im Rahmen des Flussgebietsmodells ArcEGMO ([www.arcegmo.de](http://www.arcegmo.de)) das Modul PSCN (Plant-Soil-Carbon-Nitrogen Model) entwickelt, welches neben der Wasserdynamik auch den Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt im System Vegetation-Boden simuliert. Bei der Modellentwicklung wird zusätzlich zum Test des Gesamtmodells in unterschiedlichsten Naturräumen großer Wert auf die Validierung der Teilmodelle gelegt. Detaillierte stofflich orientierte Monitoring-Programme auf land- und forstwirtschaftlichen Dauerbeobachtungsflächen bieten gute Möglichkeiten zur Überprüfung und Weiterentwicklung der Modellteile zur Simulation des Pflanzenwachstums sowie des Wasserhaushaltes und des Stickstoffumsatzes in der ungesättigten Zone .

Hierfür wurden u.a. die Messergebnisse zweier unterschiedlich ausgerichteter Monitoring-Programme in zwei klimatischen Regionen Deutschlands genutzt, die Lysimeteranlage Altengottern auf einem landwirtschaftlich hochproduktiven Standort im Thüringer Becken und die Buchen-Fichten-Dauerbeobachtungsfläche im Nationalpark Bayerischer Wald. Für beide Standorte konnte bei Vegetationsentwicklung und Wasserhaushalt eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen Simulation und Beobachtung/Messung erzielt werden.

## Introduction

The development and use of complex river basin models which describe beside the regional water budget also the vegetation dynamics and the carbon/nitrogen budget become increasingly important in the context of river basin management. ArcEGMO ([www.arcegmo.de](http://www.arcegmo.de)) with the involved Plant-Soil-Carbon-Nitrogen Model PSCN is one of these models. The usual validation way of such complex models by comparing simulated and observed catchment discharges is not without problems because river discharges are highly integrated values for itself.

Therefore, some efforts has to be done to validate the sub-models in a reasonable way. Measurement series from experimental monitoring sites under different land use and environmental conditions can be used as a solid basis for both model validation and development if they are sufficient long with a process adapted temporal resolution. Ideally such monitoring sites are part of an intensively observed catchment.

## The Model

ArcEGMO-PSCN is a GIS-based, multi-scale modelling system for spatially distributed simulation of hydrological sub-processes in river catchments. Beside the usual model approaches for describing the lateral surface and subsurface water flows at river basin scales (see BECKER et al., 2002 and PFÜTZNER, 2003) it contains complex growth models for forest and agricultural areas and a detailed soil model (water, heat, carbon/nitrogen budget). Through implementation of a crop rotation generator, the agricultural land-use structure of a region can be exactly reproduced. Air temperature, precipitation, humidity, and global radiation in daily resolution are the required climatic driving variables. The spatial resolution is carried out on the basis of hydrotopes. Each hydrotopy is characterised by a particular land use, topography, and soil profile and is associated with a fixed space within the study area.

Vegetation dynamics are simulated in dependence on land use in the individual hydrotopes. Four different plant models have been integrated into the model:

- Forest growth model 4C (LASCH et al. 2005),
- Vegetation model for agricultural crops according to SWAT 2000 (NEITSCH et al. 2001),
- general dynamic plant model on the basis of time series for describing the inner annual or long term dynamic of the plant parameters LAI and rooting depth (without C/N dynamics),
- general static model (water budget only without C/N dynamics).

The modelling of the soil processes took into account the soil profile with horizontal layers down to the C-horizon. For sites influenced by groundwater, temporarily saturated layers and the current depth of the groundwater surface were also considered. A detailed description of the PSCN module is given by KLÖCKING et al. (2005) and at <http://pscn.arcegmo.de>.

## Validation on the agricultural measurement plot “Altengottersches Ried”

A detailed monitoring network for water and material flows was set up in the Altengotterschen Ried, a flood plain area of the River Unstrut in Thuringia/Germany in 1997. The mean annual temperature here is 8.2°C; the mean annual precipitation is 550 mm. In connection with the measurement of groundwater dynamics and quality these measurements aimed to produce a comprehensive description of the water and material flows in an agricultural used flood plain and its recharge areas. This project was mainly funded by the German Federal Ministry of Education and Research during the research projects "Revitalisation of the Unstrut" and "GLOWA-Elbe".

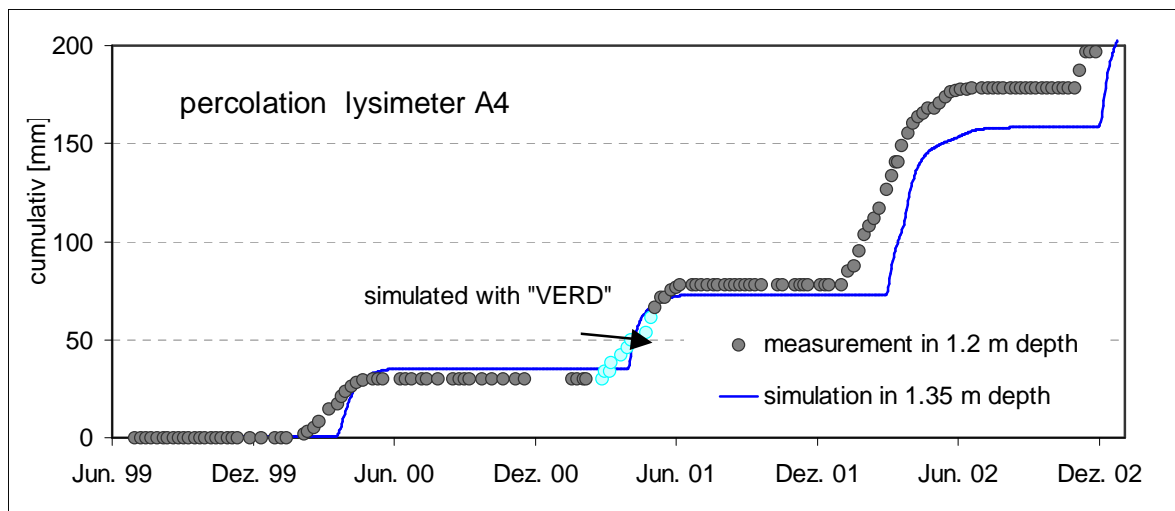
The different monitoring sites consist of a lysimeter group and a surrounding measurement field. The lysimeters have a surface area of 2 m<sup>2</sup> and – according to the amount of roots at the site – a depth of 1.3 m (lysimeter A3, Vertisol ) to 2.5 m (lysimeter A4, Fluvisol in the a flood plain). They are monolithically filled and installed in an agricultural field to avoid oasis effects. The lysimeter in the flood plain is open at the bottom to allow the interaction with the groundwater. At the suction-probe measurement sites, five sets of ceramic suction cups were set up at depths of 50, 90 and 140 cm to derive the vertical gradients for the percolation and groundwater quality (Knoblauch, 2003).

For model validation observed phenological crop data, harvest amounts, percolation rates and soil moisture measurements are used. With the chosen crop model, a simplified version of the EPIC plant growth model basing on daily accumulated heat units for simulation of the phenological plant development, we got a good agreement between the predicted and the observed development and yields like it is shown in Table 1.

Satisfying results could also reached for simulating the percolation rates like it is shown in fig. 1 for the Vertisol in the source area.

**Table 1.** Simulated (sim) and observed (mean, max, min) yields and N-contents in the harvest residues / Simulierte (sim) und gemessene (mean, max, min) Erträge und N-Gehalte in den Ernterückständen

year	lys	crop	Crop yield [dt/ha]				biomass [dt/ha]		N in yield [kg/ha]		N in straw [kg/ha]		N <sub>root</sub> [kg/ha]
			mean	max	min	sim	mean	sim	mean	sim	mean	sim	sim
1997	A3	winter wheat	85	96	72	86	155	148	180	176	81	41	55
1997	A4	winter wheat	59	73	46	66	104	120	148	144	31	33	45
1998	A4	spring barley	45	61	37	43	77	74	103	78	21	18	24
1998	A3	field bean	32	44	20	42	57	79	168	175	39	37	53
1999	A4	winter rape	41	60	23	35	116	108	145	112	54	44	48
1999	A3	spring wheat	70	76	65	58	153	152	164.8	122	38	42	41
2000	A4	winter wheat	47	61	34	63	119	119	134.7	142	43	33	44
2000	A3	spring barley	46	52	34	43	79	78	78.7	76	22	20	24
2001	A3	winter rape	29	40	16	49	78	145	101.5	104	33	57	49
2001	A4	winter wheat	64	80	34	60	132	120	166.7	142	38	34	45



**Fig. 1.** Simulated and observed percolation rates of the lysimeter A4 (Vertisol) in the time period 7/1999 - 12/2002 / Simulierte und gemessene Sickerwasserspende des Lysimeters A4 (Tonmergelrendzina) im Zeitraum 7/1999 - 12/2002

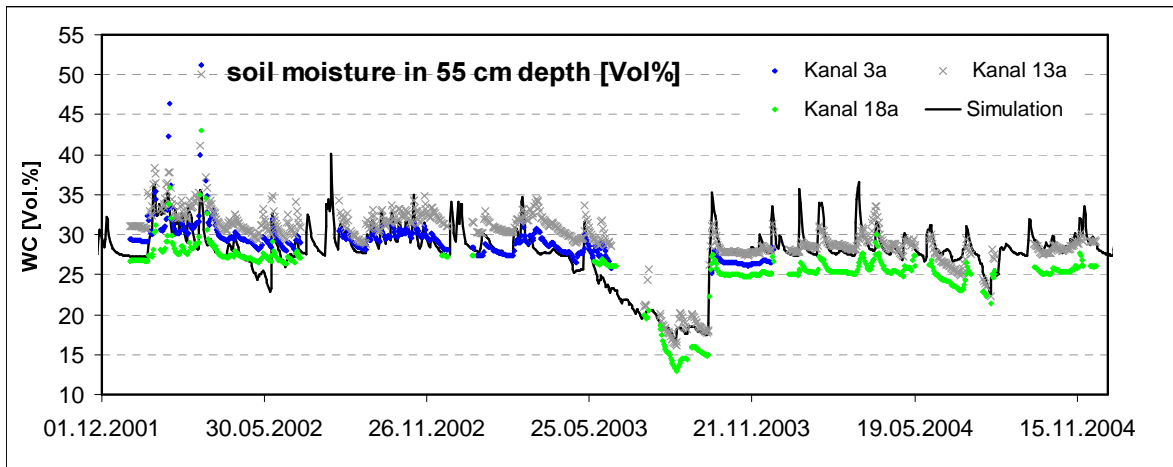
## Validation at a beech stand in the Bavarian Forest Park

The Forellenbach area (0.7 km<sup>2</sup>) in the Bavarian Forest National Park is part of the „International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (UN/ECE ICP-IM)“. The purpose of this programme is to document the state of ecosystems and changes caused by anthropogenic impacts, such as atmospheric pollutants and climate change. In the frame of these project the water and element cycling in beech and spruce stands and on catchment scale have been observed since 1990 (BEUDERT & BREIT, 2004).

Data series particularly suitable for the validation of the water, snow and vegetation sub-models of ArcEGMO-PSCN are available for the beech/spruce stand B1 (about 100 years old, elevation of 820 m, mean precipitation: 1600 mm/a, mean temperature 6.2 °C), growing on a Dystric Cambisol which is acidified and low in exchangeable cations. Parallel measurements of soil water contents and vertical flows on plot scale and of lateral flows on catchment scale (Forellenbach gauging station) are valuable to test and to improve distributed eco-hydrological models. The simulated



biomass increment of the tree stand (KLÖCKING et al. 2005) as well as the soil water content and its variability in different soil layers (fig. 2) agree well with the measurements.



**Fig. 2.** Water content (WC), simulated und observed by TDR-measurements of the beech/spruce stand B1 / Bodenfeuchteverlauf (Simulationswerte und TDR-Messungen) im Buchen-Fichtenbestand B1

## References

- BECKER, A., KLÖCKING, B., LAHMER, W., PFÜTZNER, B. (2002): The Hydrological Modelling System ArcEGMO. In: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology (Eds.: Singh, V.P. and Frevert, D.K.). Water Resources Publications, Littleton/Colorado, 321-384. ISBN 1-887201-34.
- BEUDERT, B., BREIT, W. (2004): Zwölf Jahre Integrated-Monitoring-Programm an der Messstelle Forellenbach im Nationalpark Bayerischer Wald, FKZ 351 01 012; Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, 307 S., Grafenau
- KLÖCKING, B., SCHWARZE, R., BEUDERT, B., SUCKOW, F., LASCH, P., BADECK, F., PFÜTZNER, B. (2005): Auswirkungen des Borkenkäferbefalls auf den Wasser- und Stoffhaushalt zweier Gewässereinzugsgebiete im Nationalpark Bayerischer Wald, Schriftenreihe „Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet der Großen Ohe“, Bd. 8, ISSN 0937-0056.
- KLÖCKING, B., SOMMER, TH., PFÜTZNER, B. (2005): Das Unstrutgebiet – Modellierungen des Wasser- und Stoffhaushalts unter dem Einfluss des Globalen Wandels. In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (Hrsg.) Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet, Weißensee Verlag, 198-207, ISBN 3-89998-062-X.
- KNOBLAUCH, S. (2003): Dynamik der Stickstoffverlagerung in einem Flusseinzugsgebiet der Unstrut und Schlussfolgerungen für die Landnutzung – Dynamics of Nitrogen Leaching in the Catchment Area of the Unstrut River and Conclusions for Land Use. In: Z. f. Landnutzung und Landentwicklung, Volume 44 (3) 122-128
- LASCH, P., BADECK, F. W., SUCKOW, F., LINDNER, M., MOHR, P. (2005): Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany). Forest Ecology And Management 207(1-2): 59.
- NEITSCH, S. L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J. R., WILLIAMS, J. R.. (2001): Soil and water assessment tool – Theoretical documentation Version 2000 (<http://www.brc.tamus.edu/swat/>). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Temple.
- PFÜTZNER, B. (Ed., 2003): Modelldokumentation ArcEGMO. <http://www.arcegmo.de>, ISBN 3-00-011190-5.

# The Hydrographic Monitoring Network of the Unsaturated Zone in Austria (UZ Network)

Gabriele FUCHS

MR Dipl.-Ing Gabriele Fuchs, Department VII - Water / Subdepartment VII/3 - Water Balance in the Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management  
Marxergasse 2  
A-1030 Vienna – Austria

## Zusammenfassung

1997 wurde mit dem Aufbau des österreichischen Messnetzes der Ungesättigten Zone begonnen. Es besteht aus kontinuierlich aufzeichnenden Messstellen, in welchen jeweils die Hauptparameter zur Erfassung der Wasserbewegung in der Bufferzone zwischen Atmosphäre und Grundwasser gemessen werden. Bodenwassergehalte, Saugspannungen und Temperaturen werden in 4 bis 6 unterschiedlichen Profiltiefen im Stundentakt erfasst und in Stations-Datensammlern gespeichert. Mittels standardisierter Modelle werden aus diesen Parametern die Grundwasserneubildung und die tatsächliche Evapotranspiration in der gleichen zeitlichen Auflösung abgeleitet. Die dem Messnetzkonzept zugrunde liegende Idee bestand darin, diese Ergebnisse mit Hilfe der Bodenkarte zu regionalisieren. Aktuell sind 11 Messstellen in Betrieb. Mit der Veröffentlichung von Wassergehalten und Saugspannungen, vielleicht auch einzelnen abgeleiteten punktuellen Grundwasserneubildungen, ist ab Veröffentlichungsjahr 2004 zu rechnen.

## Legal and Organisational Framework

The UZ-network is embedded in the hydrographic subject “Subsurface Water”, which contains the quantitative water balance elements "groundwater, springs and unsaturated zone". “Quantitative” means not concerning any chemistry or biology aspects– just water pressures and tensions, fluxes, soil-moistures, temperatures, in the case of springs, conductivity (solutes) and eventually turbidity is added. The Austrian Hydrographic Survey dealing with the subsurface water consists of 4 federal employees (including myself) and 1 to 4 colleagues in each province. We operate 3,000 groundwater stations, 100 springs and 11 unsaturated-zone-sites involving the construction and sensor/data-logger-equipment of the gauges, the observation, manned also by external and paid observers, the maintenance of the networks, the data-processing, data-base-management and the data/result-publication.

To make the overview about the Hydrographic Survey in Austria more complete, there are about twice as many colleagues dealing with surface-water (including solids) and half as many dealing with the atmosphere (not included is the ZAMG). Our federal mean annual subsurface-water-budget amounts to approximately 40,000 € plus 30,000 € paid to the observers in each province. The countries add about half up to twice.

In 1997 a measuring-network of the unsaturated zone, containing 45 sites, is explicitly mentioned in the “Hydrography Law” for the first time. In 1995 Dr. Pramberger (my predecessor in office) and DI Feichtinger (BAW, IKT Petzenkirchen) drafted a network, consisting of 8 to 10 sites, equipped with lysimeter, tdr-profiles, tensiometer-profiles and *gypsum-profiles* and about 35 to 37 sites equipped with just profiles (without lysimeters).). The profile-measuring-depths were defined at 10, 30, 60, 90, 120 and 150cm below ground. Drafts of the federal measuring network never

contain exact locations, as we depend on the interest, personnel and financial aid of the provinces to a great extent and also on new measuring-projects like the UZ-network.

## The Punctual Groundwater-Recharge Derived from Tension and Moisture-Profiles

Already in the early 1990's the interest in time-series of groundwater-recharge increased significantly – reducing, for example, the interest in temperature-profiles. Nowadays the groundwater-recharge of groundwater-bodies (and even groups of groundwater-bodies) is in the centre of the sustainability-consultations, due to the water-framework-directive. Estimations of groundwater recharge are done (Holler) starting from surface-low-water-flow and/or from mean annual precipitation. Verifications of those estimations are desired and can be derived from our measuring-sites.

The main idea of the UZ-network is to gain the *objective recharge* by

- calculating field- and lab-pf-curves
- calculating the *capillary conductivity-function* using e.g. MILLINGTON & QUIRK
- calculating the recharge with the help of tension-differences in the deepest layer
- if possible SIMWASER-calculations to control the calculated recharge
- if possible plausibility-check with a nearby groundwater- and precipitation-gauge

The main problem we are encountered with now is the huge difference between laboratory- or literature-pf-curves and our measured field-pf-curves – especially in the deeper layers. The reason is that our soils contain up to 60-70 % *Gerüstantei* (??)!. Such soils are, at least a great challenge to soil-moisture-sensors. A moisture-measuring-control-programme with TRASE-measuring two to four times per year and manual controls by *bohrstock-extraction* and laboratory-analysis was started.

In the meantime, we have reduced our project ambition in many ways. Instead of 45 sites we are happy if 11 of our sites work without breaks. At the moment we are confronted with interruptions of up to 40% at our problematic sites, even if professionally (Fa. UMS) maintained. Perhaps we will try to establish two new sites within the next 3 years. In the early 2000's we thought we could forget the equipment with additional lysimeters, as we thought we could derive all results from the profiles. In the last 2 years we had to face the fact that continuous UZ-profile-measuring is not only extremely expensive to maintain (concerning personnel and financial resources) and even incomplete, but also the measured data are extremely unreliable. Furthermore you can not rely on such small amount of data (mainly soil-moisture), even if they look reasonable.

That's why we have started to equip 3 or 4 sites with additional lysimeters as it was proposed in 1995.

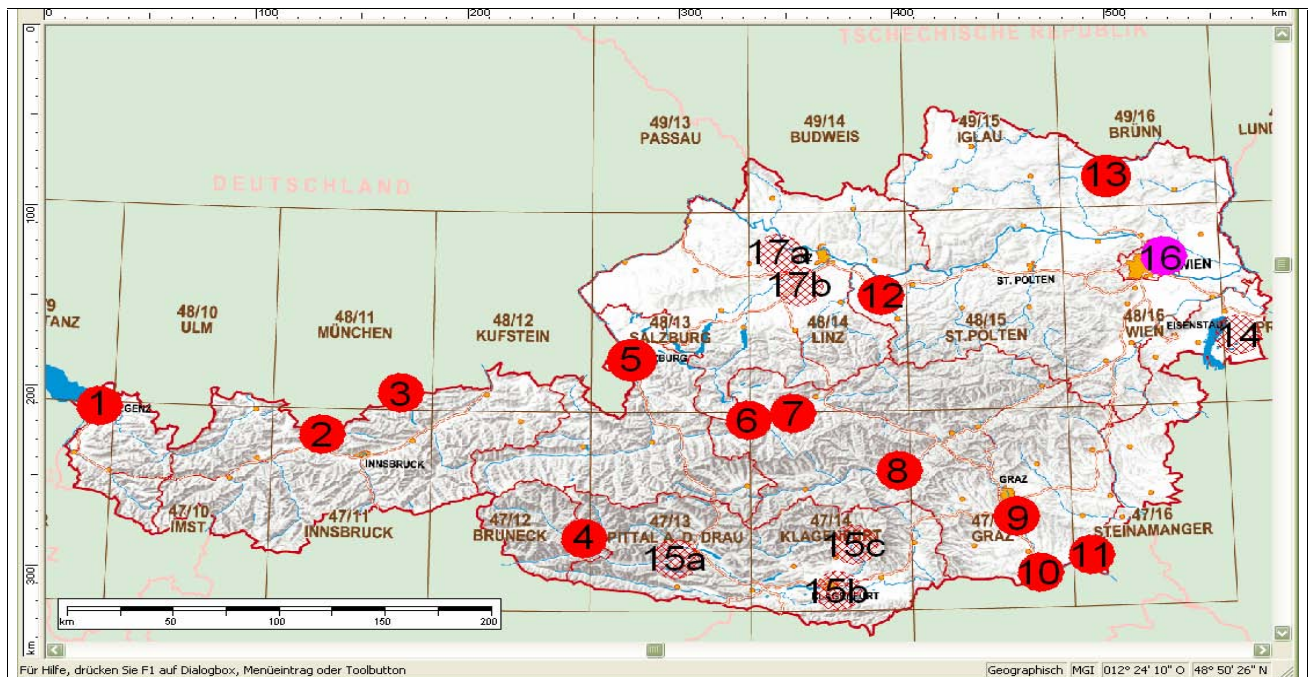
We don't insist any more on being able to compute the recharges ourselves before publishing any parameter-time-series. Up to now we have not been able to formulate general data-correction-algorithms. With the help of our 2 research-institutes accompanying the UZ-network - Dr. Stenitzer from the BAW, IKT Petzenkirchen and Prof Klik and his team from the Institute of Hydraulics and Rural Water Management – we are now able to see a solution, but the implementation of the algorithms into our hydrographic software system (AZUR, Fa aqua\_plan) is causing huge numerical or performance problems.

We – especially those provinces, whose site(s) work(s) quite well – look forward to the final go ahead of the publication of water-tension and soil-moisture data.

## Overview of the Measuring Sites

The following illustration shows the most important key data of the UZ-network:

Location, start of measurement (year), name, altitude, additional remarks



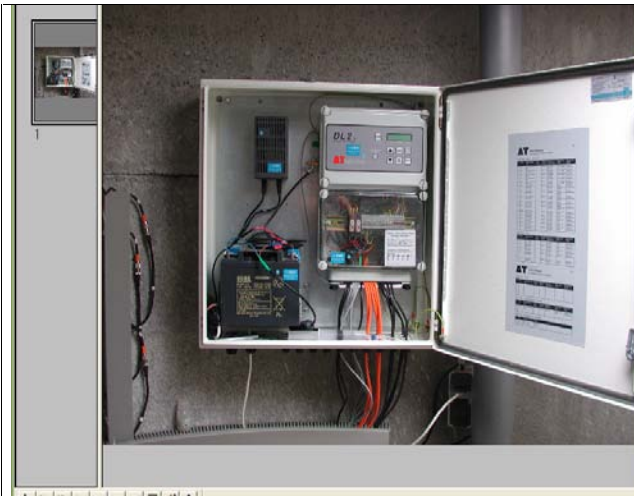
- 1 from 02-2005 Lauterach (400 müA) – Twin-profil ; Computation 2005
  - 2 from 01-1998 Leutasch (1135 müA) –lysimeter since 2006; Computation 2006
  - 3 from 09-1997 Achenkirch (850 müA; forest) – quadruple profil; cooperation with BFW
  - 4 from 04-1999 Zettersfeld (1820 müA) – Twin-soil-moisture-profil; tensiometer-equipment 2006
  - 5 from 05-2002 Elsbethen (428 müA); Computation 2006
  - 6 from 08-2005 Stoderzinken (1890 müA) - Twin-profil – cooperation with BAL; With lysimeter
  - 7 from 07-2004 Gumpenstein (690 müA) – cooperation with BAL; only lysimeters with soil-moisture-equipment; sensor-equipment outside lysimeters and tensiometer-equipment 2007
  - 8 from 04-2000 Stadlmoar (670 müA)
  - 9 from 11-2001 Kalsdorf (330 müA) – Twin-profil plus ADCON-Test; Parameteranalysis 2004 existing
  - 10 from 07-2002 Hochgraßnitzberg (500 müA) ADCON-Test) not working; 2007 perhaps 1 ADCON+
  - 11 from 07-2002 Zaraberg (300 müA) ADCON-Test ) +tension-profile in that region projected
  - 12 from 01-1999/2000 Wolfsbach (340 müA) - Twin-profil
  - 13 from 10-1997 Schalladorf (238 müA)– pilote ! Computation existing; Regionalization existing
  - 14 Seewinkel – extension-project Burgenland; perhaps 2008
  - 15a oberes Drautal – extension project K
  - 15b Klagenfurter Becken - -,-
  - 15c Krappfeld - -,-
  - 16 from 1995 Hirschstetten – AGES Lysimeter; projected data-transfer and publication
  - 17a Südliches Eferdinger Becken – extension-project-variant Oberösterreich
  - 17b Traun-Enns-Platte - -,-
- BFW: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft  
BAL: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft

## Selected Pictures from Gauges, Data and Computation

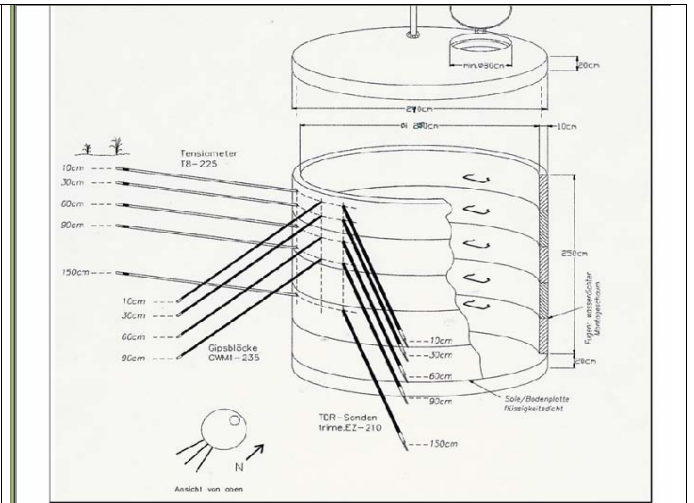
The following pictures should provide some closer views how

- our sites are constructed
- punctual and regional recharge is computed

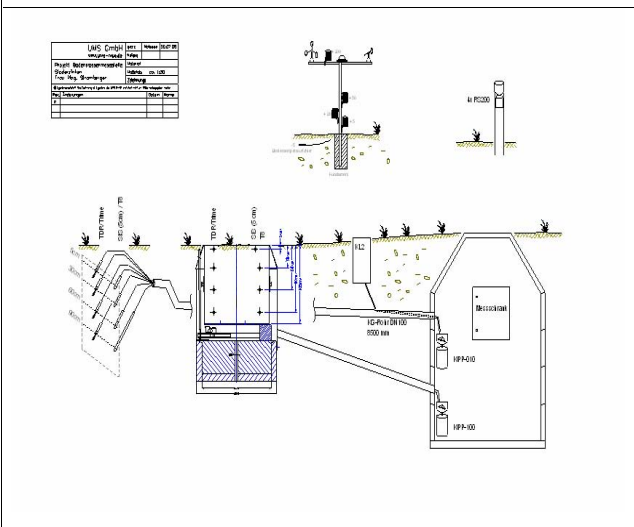
- we manage the data (site-data and time-series)



Elsbethen



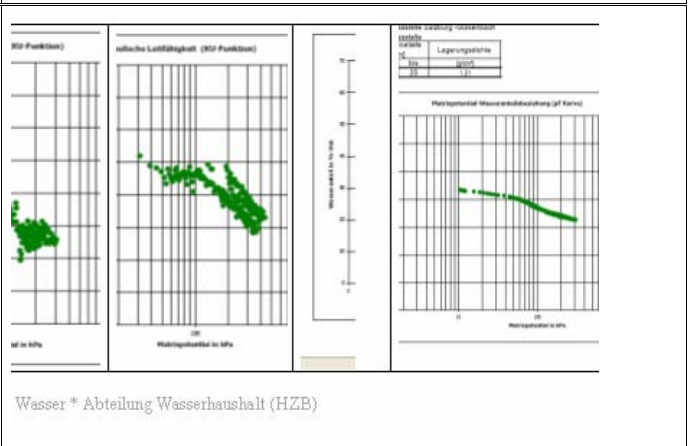
Elsbethen



Stoderzinken

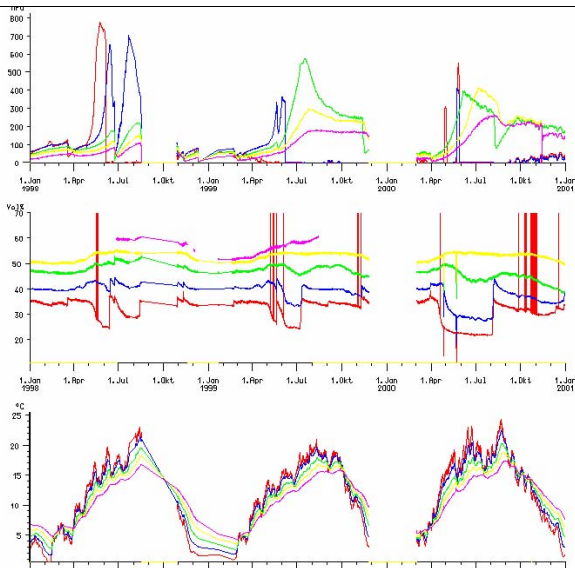


Elsbethen



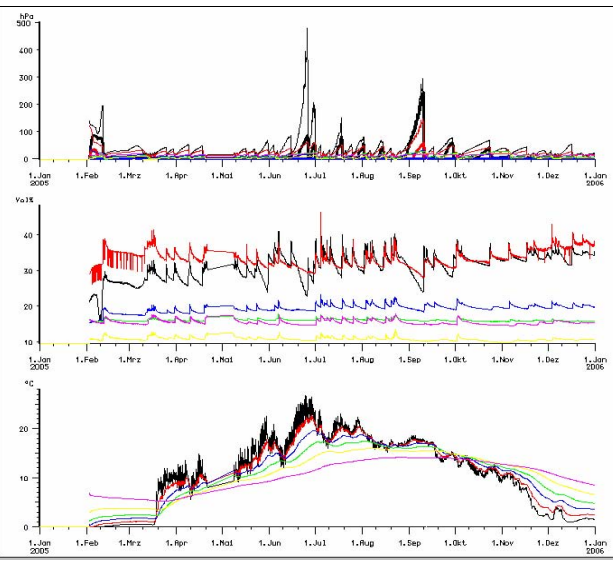
Wasser \* Abteilung Wasserhaushalt (HZB)

### Leutasch

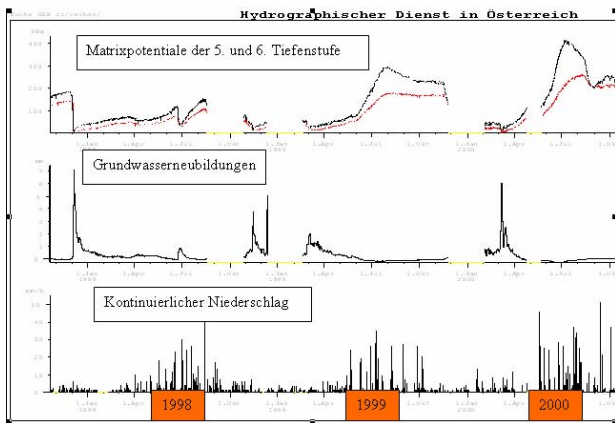


Raw-data Schalladorf: tensions, soil-moistures and temperatures (1998 – 2000)

### Elsbethen – labor-analysis (ku, pf)



Raw-data Lauterach North (2005)



Schalladorf; AZUR-computed recharge – implementation of algorithms and k-functions after Feichtinger ( Schalladorf-report, 2003)

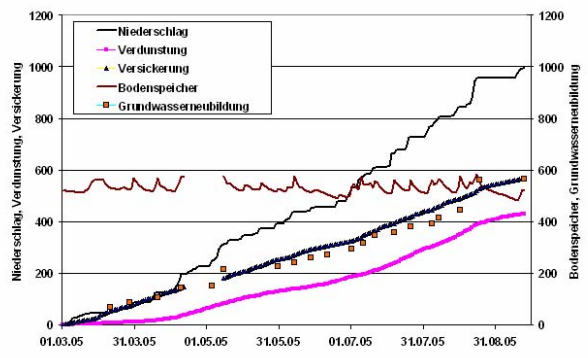
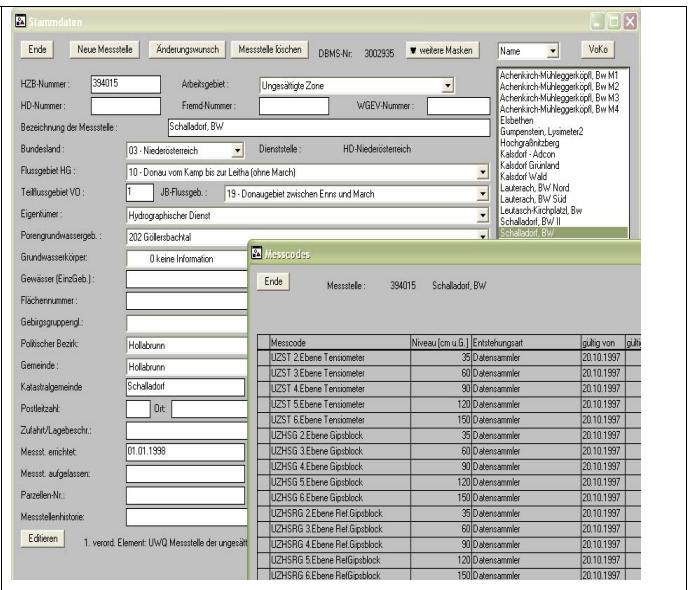
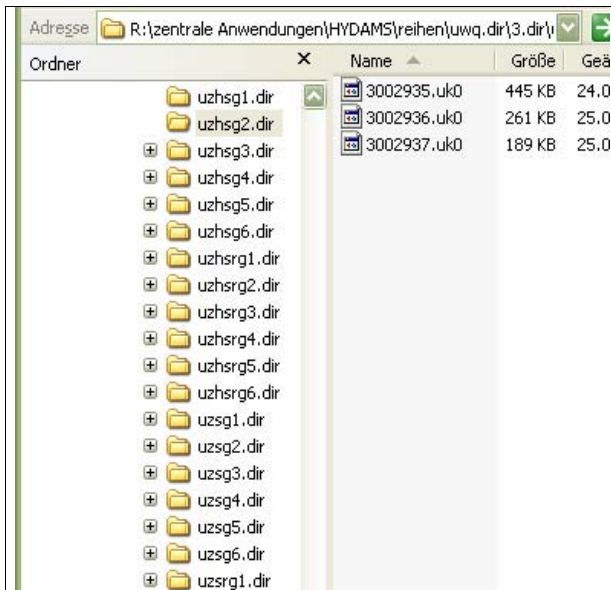


Abb. 15: Niederschlag, Versickerung und Verdunstung, sowie Profilwassermenge der Bodenteuchte-messstelle Lauterach-NORD im Zeitraum 1.3. – 12. 9. 2005

Lauterach North; EXCEL-computed recharge; Stenitzer, 2005;



## Organization of time-series

## Station-data

### Hauptmodule im Programm Ungesättigte Zone

1. Zeitreihen-Bereinigung
2. Gipsblock- / Referenzgipsblock Umrechnung
3. Tensiometerdialog
4. Matrixpotentialberechnung
5. UZWG – Temperaturkorrektur
6. Grundwasserneubildung

### 1. Zeitreihenbereinigung:

- Lückensetzung
- Plausibilitätsprüfung (Minimum – Maximumgrenzen)
- Ausreisser-Eliminierung

### 2. Gips- / Referenzgipsblock Umrechnung (mV -> hPa):

- Berechnung des Widerstandes in Ohm
- Temperaturkorrektur des Widerstandes unter Zuhilfenahme der Bodentemperaturen
- Berechnung der Saugspannung mit Hilfe von Eichbeziehungen (Wertepaare)
- Plausibilitätsprüfung (Minimum – Maximumgrenzen)

## The AZUR-UZ-software: modules and details

### 3. Tensiometerdialog:

- Zuhilfenahme der Information über die Befüllungszeitpunkte der Tensiometer
- Verwerfung der Messwerte, die zwischen dem Lufteintritt- und Wiederbefüllungszeitpunkt liegen

### 4. Matrixpotentialberechnung :

- Verschneidung von Tensiometer- und Gipsblockmessungen zu einem Ergebnis
- Beachtung der Endwert-Prioritäten (generell Tensiometer, Gipsblock, Referenzgipsblock)

### Jüngste Programmmodifikationen:

- neue Gipsumrechnung (Wertepaare statt Eichkurven)
- verallgemeinerte Matrixpotentialermittlung

### Im Prototyp enthalten, noch nicht für alle Messstellen getestet :

- Frostbereinigung
- Lanzeneliminierung mittels angepasster QuellZR-Korrekturprogramm-Algorithmen)
- Gegenläufigkeit

# Regional Application of STOTRASIM for Modelling of Water and Nitrogen Dynamics in the Unsaturated Zone

F. Feichtinger

Federal Agency for Water Management  
Institute for Land and Water Management Research  
Pollnbergstraße 1  
A-3252 Petzenkirchen  
Austria

## Zusammenfassung

Vorgaben zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Wasservorkommen sind in EU-Regulativen fixiert. Rechenmodelle sind ein häufig verwendetes Instrument, um die Erfüllung der vorgegebenen Ziele bzw. Strategien zu deren Realisierung einzuschätzen. STOTRASIM ist ein solches Werkzeug, um die Versickerung von Wasser und Stickstoff ins Grundwasser für landwirtschaftlich genutzte Böden zu bewerten. Die Anwendung dieses Rechenmodells für die großräumige Quantifizierung von Grundwasserneubildung und Stickstoffversickerung wird für verschiedene Regionen und unterschiedliche Bewirtschaftungen von Agrarland an zwei Beispielen dargelegt.

## Introduction

The sustainable management of water is a great challenge worldwide. While scarcity of water is the main problem in arid zones, the available amount of water is sufficient in Central Europe, but frequently its quality is subject to discussion. Anyway, the EU Water Framework Directive set the relevant regulatory measure and the Council Directive 91/676/EEC focuses on the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Nevertheless the nitrate concentration of the groundwater exceeds the threshold value in various regions of Austria, in particular in the eastern part of Austria, in the central region of Upper Austria and in the southeastern part of Styria. The problem is discussed mainly in relation to the management of arable land in these regions.

This kind of problems is identified by monitoring of relevant data. Once identified usually efforts to solve the problem follow. Models to simulate the dynamics of water, carbon and nitrogen in the vadose zone, are one way to assess the interrelation and the mechanisms between management of arable land and groundwater pollution considering the local conditions of climate, soil properties and local practises of farming. Modeling tries hard to explain the interrelation between farming practises and nitrate concentration of the groundwater and also to provide suggestions for modified management practises to solve the problem in a sustainable way. More or less strong modifications in farming practises require the acceptance of the people involved. The implementation success of strategies proposed by model application may be evaluated by monitoring.

STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998) is such a tool to assess the dynamics of water and nitrogen in the unsaturated zone. Below, examples are cited, where this tool was applied at regional scale to assess nitrate leaching.



## **Methodology**

### **The Model “STOTRASIM”**

STOTRASIM describes one-dimensional vertical flow of water and nitrate-nitrogen within a soil profile, neglecting interflow and preferential flow. Soil water fluxes and plant growth are calculated with the model SIMWASER (STENITZER, 1988), which is part of STOTRASIM.

SIMWASER simulates the water balance and the crop yield of any number of crop rotations and years on daily basis. At the soil surface, precipitation and irrigation act as input while evaporation and transpiration act as output. Interception is taken into account. Water fluxes in the soil are calculated according to Darcy’s law. Either capillary rise or seepage is the result at the lower boundary of the soil profile.

STOTRASIM calculates a daily nitrogen nitrate-nitrogen balance for a given soil profile. Nitrogen inputs (fertilisation, precipitation, irrigation, assimilation from the air by legumes, capillary rise) and losses (volatilisation, denitrification, leaching), nitrogen uptake of the vegetation, nitrogen turnover (mineralisation, immobilisation) and nitrate-nitrogen transport in the soil are taken into account. At the lower end of the soil profile the nitrate fluxes are calculated, identifying nitrate leaching.

### **Project regions for application of STOTRASIM**

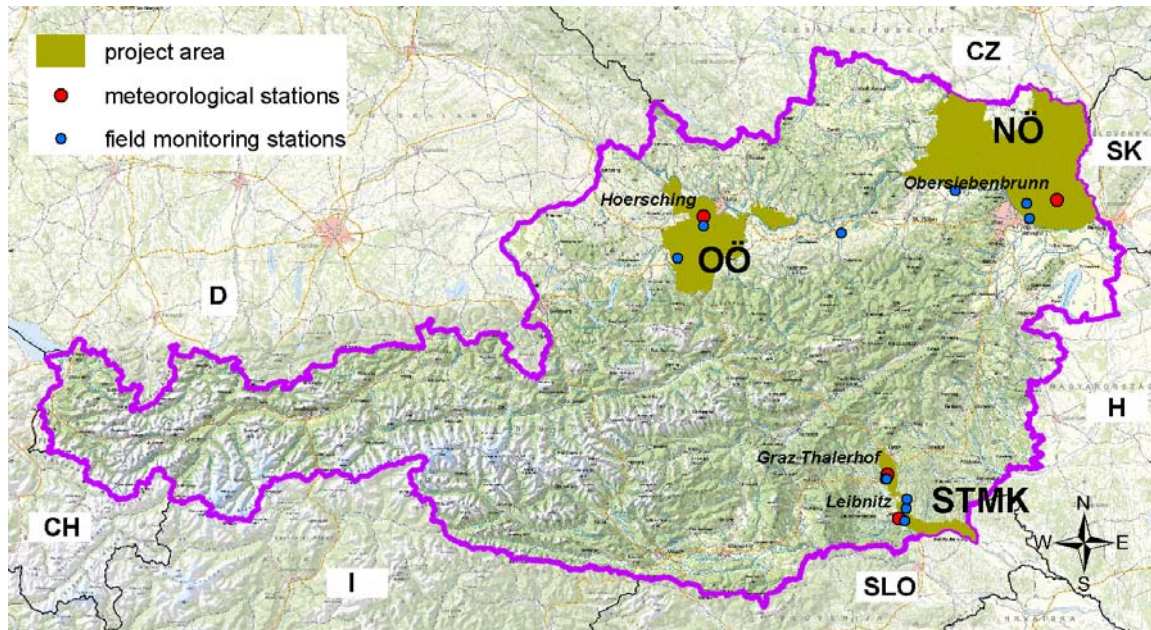
Some model parameters, which are related to evapotranspiration and to the nitrogen turnover rate, were calibrated on the basis of data sets from field monitoring stations, which are mapped in fig. 1. The data are mostly from lysimeter stations and the amount of water and nitrogen leaching from this equipment was used for calibration. In addition time series of water content measurements and of nitrate concentrations at different depths of a soil profile were used for calibration. For the region of Southeast Styria (STMK, Fig. 1) the data from the lysimeter station Wagna were a fundamental basis for calibration.

#### ***Project “Water management of basins”***

“Water management of basins” is an ongoing sub-project of the research network WATERPOOL. In the module “Prognosemodelle” tools are elaborated for the region of Southeast Styria, (STMK, Fig. 1) in order to support an optimised monitoring, an anticipatory planning by means of modeling and an appropriate management of arable land for the sustainable utilisation of the groundwater resources. Within this framework seepage and nitrate leaching have been assessed by STOTRASIM for arable land. As model input the climatic conditions were obtained from the meteorological stations Leibnitz and Graz-Thalerhof. Characterisation of the local soil properties was based on data of the national soil survey service and the parameterization of the different soil types was done according to MURER (1998). Management of arable land was defined in close cooperation with local experts on agriculture; the crop rotation was dominated by maize.

#### ***Project “Evaluation of the water management effectiveness of catch crops”***

A mid-term evaluation of the Austrian agri-environmental programme ÖPUL 2000 (BMLFUW, 2000) should assess the effectiveness of catch crops for reducing nitrate leaching to the groundwater. Three Austrian regions, located in the eastern part of Austria (NÖ), the central area of Upper Austria (OÖ) and the southeastern part of Styria (STMK), were chosen for this assessment (Fig. 1).



**Fig. 1.** Location of the project area and the project-related meteorological stations and monitoring sites in the field / Lage der Projektregionen und der projektrelevanten meteorologischen Stationen und Feldmessstellen

Local climatic conditions were obtained from the meteorological stations Obersiebenbrunn (NÖ), Hörsching (OÖ) and Leibnitz (STMK). The soil properties were parameterized as mentioned above for six representative soil types as defined by the national soil survey service. Management of arable land was defined in close cooperation with local experts on agriculture. Attention was paid, that for the tested crop rotations periods from harvest in autumn until cultivation in next spring included both bare fallow and the alternative catch crops according to ÖPUL 2000 (Table 1).

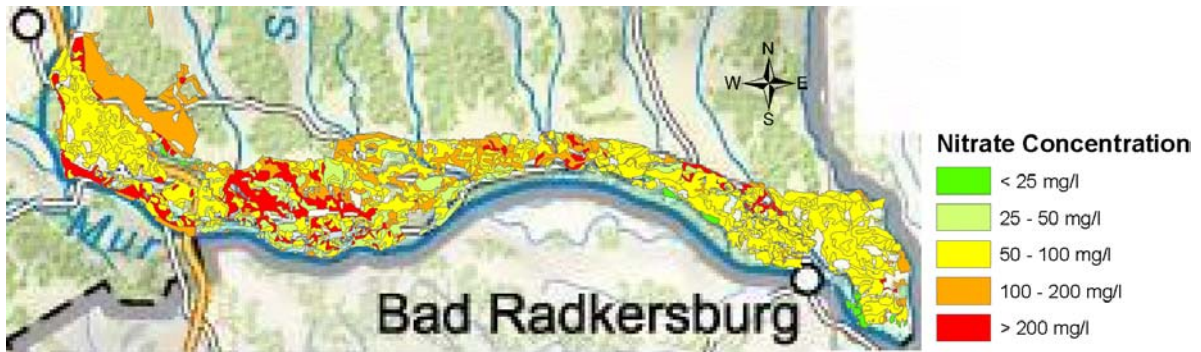
**Table 1.** Catch crop management offered by ÖPUL 2000, pt. 2.22 / Begrünungsvarianten gemäß ÖPUL 2000, Pkt. 2.22

Variant	Type	Sowing at the latest	Cultivation as of
A	green crop in summer/autumn	20.8.	15.11.
B	green crop in autumn/winter killed by frost	30.9.	15.2. following year
C	hardy green crop in autumn/winter	15.10.	1.3. following year
D	green crop in summer/winter	31.8.	15.2. following year

## Results

### ***Project “Water management of basins”***

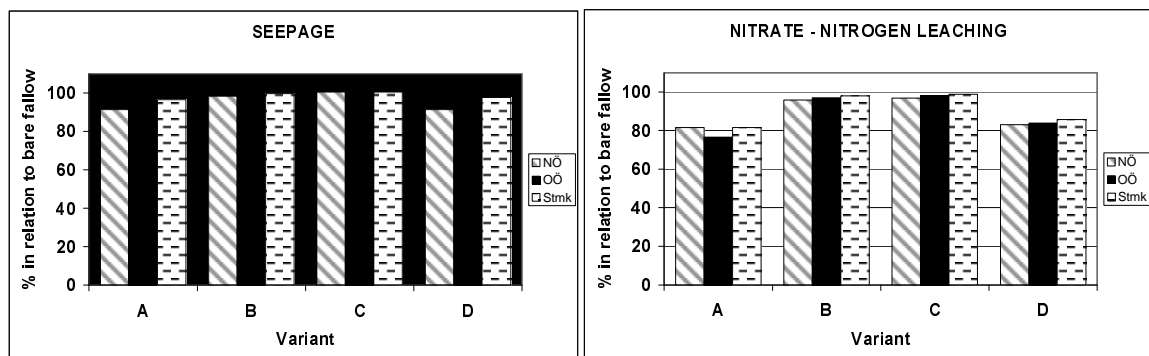
As an example for the results obtained so far, the nitrate concentration of the seepage, calculated with STOTRASIM, is shown for the arable land of the most southern part, “Unteres Murtal” (Fig. 2) of the project area (Fig. 1, STMK). Finally, the whole project area will be worked up and mapped in this way, to outline strategies for a sustainable utilisation of the groundwater resources.



**Fig. 2.** Nitrate concentration of the seepage for arable land of the most southern part of the project area Styria (“Unteres Murtal”) / Nitratkonzentration der Versickerung von Ackerflächen für den südlichsten Teils des Projektgebietes (“Unteres Murtal”)

### **Project “Evaluation of the water management effectiveness of catch crops”**

As shown in Fig. 3, catch crop management according to variant A and D has a notable influence on seepage as compared to bare fallow. Compared to bare fallow variant A and D both reduce nitrate-nitrogen leaching and the nitrate concentration of the seepage considerably and equally well, whereas variant B and C exhibit only little effect. These results apply to all tested regions.



**Fig. 3.** Seepage and nitrate-nitrogen leaching for different management of catch crops in relation to bare fallow for the three tested regions / Grundwasserneubildung und Stickstoffversickerung zu den vier Begrünungsvarianten A-D in Relation zur Schwarzbrache für die drei Beispielsregionen

### **Acknowledgment**

The research was funded in part within the network WATERPOOL (<http://www.waterpool.org>)

### **References**

- BMLFUW (2000): Sonderrichtlinie des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (ÖPUL 2000); Zl. 25.014/37-II/B8/00.
- FEICHTINGER, F. (1998): STOTRASIM - Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bd. 7, 14-41.
- MURER, E. (1998): Die Ableitung der Parameter eines Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodelles aus den Ergebnissen der Bodenkartierung. Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, 89-103.
- STENITZER, E. (1988). SIMWASER - Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitteilung Nr. 31, Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, A-3252 Petzenkirchen.

# **Modellierung diffuser N-Einträge in die Grundwasserkörper des Freistaates Sachsen im Rahmen der Erstellung eines landesweiten Stoffatlas**

M. Gebel<sup>1</sup>/M. Kaiser<sup>1</sup>/J. Ullrich<sup>1</sup>/K. Grunewald<sup>1</sup>/S. Bürger<sup>2</sup>/S. Halbfaß<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Dresden, Institut für Geographie, 01062 Dresden, Deutschland

<sup>2</sup>Gesell. für Angewandte Landschaftsforschung bR, Am Ende 14, 01277 Dresden, Deutschland

## **Summary**

From 2005 to 2006 we modelled diffuse gross and net loads of nitrogen and phosphorus in the area of the Federal State of Saxony (Germany). The model results are an important component in elucidating the present situation of nutrient loads in ground water and surface water as well as its future development. Calculations were performed by means of the STOFFBILANZ model, adjusted to the project area. The present contribution focuses to the modelling of diffuse nitrogen loads in seepage and ground water. This requires first a realistic description of management practices (fertilizing, yields), of processes of mobilization and immobilization as induced by the respective types of fruit and of local conditions. The computed N-surplus will be washed out by the different runoff components. In this context we tried to make an estimation about the potential of denitrification in ground water and the resulting reduction of nitrate.

## **Einleitung**

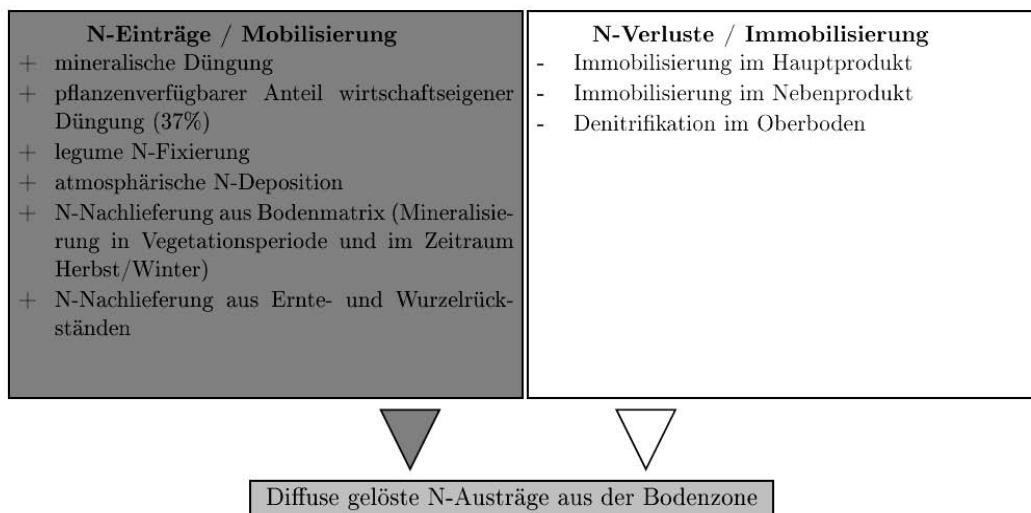
Die stoffliche Belastung von Boden und Wasser stellt in den intensiv genutzten Kulturlandschaften Mitteleuropas eines der ökologischen Hauptprobleme der Gegenwart dar. Aus Sicht der Zielstellungen der WRRL können insbesondere die Einträge der Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor zu nachhaltigen Beeinträchtigungen des Zustandes der bewertungsrelevanten Qualitätskomponenten oder zu Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen für den chemischen Parameter Nitrat in den Oberflächengewässern sowie im Grundwasser führen. Hieraus ergeben sich Anforderungen an die Aufstellung und Umsetzung geeigneter Maßnahmenprogramme zur gezielten effektiven Reduzierung der Nährstoffbelastungen in den Gewässern. Mit der Realisierung des FuE-Vorhabens „Atlas der diffusen Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer“ (K. Grunewald et al., 2006) wird unter Nutzung des Web-GIS-basierten Modells STOFFBILANZ.i zunächst das gegenwärtige Eintragungsgeschehen für Sediment-, Stickstoff- und Phosphorfrachten von der Fläche in die Gewässersysteme aufgezeigt. Im Fokus des vorliegenden Beitrages steht dabei die Modellierung diffuser N-Einträge aus der ackerbaulichen Flächennutzung in die Grundwasserkörper.

Alle Arbeiten erfolgten in enger Kooperation mit dem Landesamt für Umwelt und Geologie (Auftraggeber), der Landesanstalt für Landwirtschaft sowie dem Staatsbetrieb Sachsenforst.

## **Methodik der Bilanzierung**

Die Stickstoffbilanz im Boden ist abhängig von anthropogen bedingten Nutzungseinflüssen sowie der Ausprägung der naturräumlichen Faktoren. Auf der ackerbaulich genutzten Fläche wird als

Grundlage der Berechnung zunächst eine möglichst differenzierte „erweiterte“ Stickstoffbilanz aufgestellt (Fig. 1), die neben den Input- und Outputparametern auch Faktoren des N-Umsatzes im Boden (z.B. Nachlieferung aus Bodenmatrix während Vegetationsperiode sowie im Herbst-/Winterzeitraum) einschließt (siehe M. Gebel et al., 2005, B. Arman et al., 2002). Dies hat den Vorteil, dass Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie deren Veränderung besser abgebildet werden können. Eine schlagbezogene Datenerhebung ist allein schon aus Gründen des Datenschutzes bei der angestrebten mittelmaßstäbigen Betrachtungsweise nicht möglich, sodass auf die gemeindebezogenen Agrarstatistiken zurückgegriffen werden musste. Demzufolge erhält jede Rasterzelle in einer Gemeinde die gesamte (einheitliche) Agrarstruktur auf Gemeindeebene. Dies betrifft analog die Angaben zum Viehbesatz, anhand dessen auf den Anfall wirtschaftseigener Düngung rückgeschlossen wurde. Die berechneten Stickstoffbilanzen sind somit mittlere Austräge aus dem Boden pro Gemeinde, die in ihrer Ausprägung durch naturräumliche Einflussfaktoren differenziert sind.

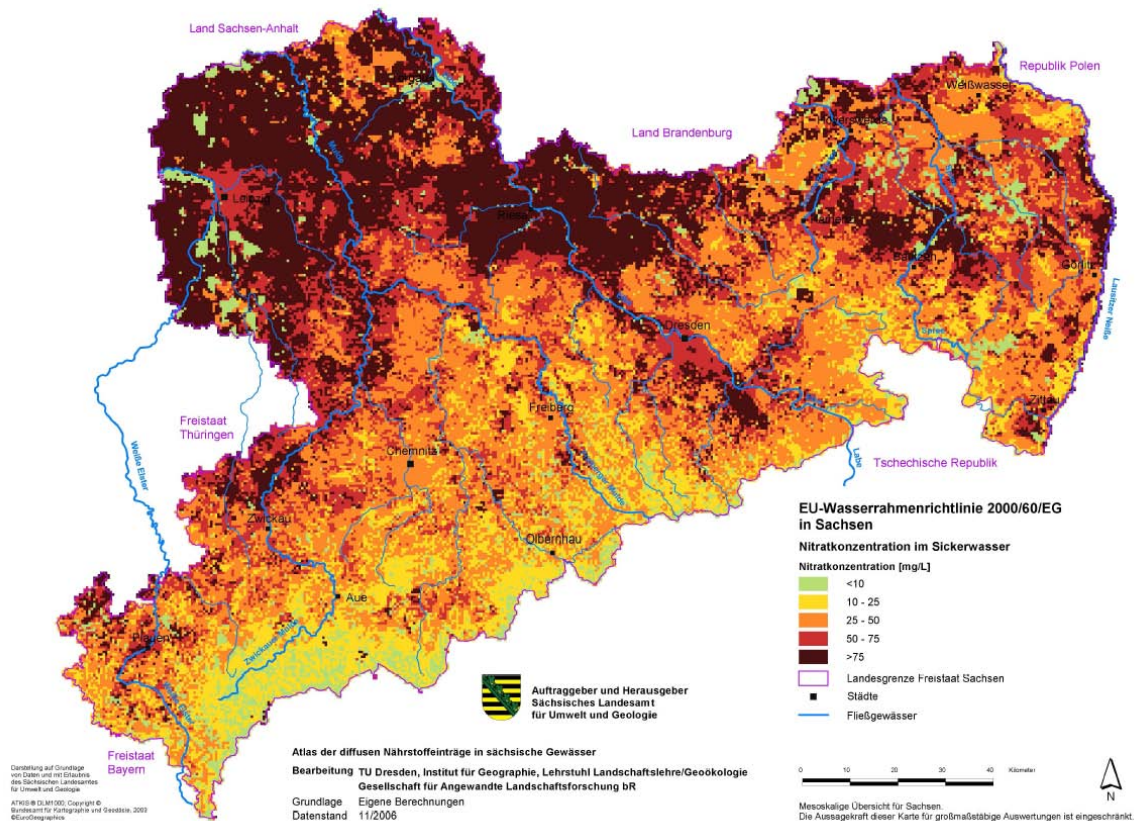


**Fig. 1.** Bilanzglieder für Ackerflächen zur Berechnung diffuser N-Austräge im Modell STOFFBILANZ  
**Fig. 1.** Components of the balance on arable land for calculation of diffuse gross loads in the STOFFBILANZ model

Eine Verlagerung der aus der Fläche ausgetragenen Emissionen erfolgt aus der durchwurzelten Bodenzone über den Pfad der Versickerung, den Dränabfluss sowie den Oberflächenabfluss. Die gelösten N-Frachten der verschiedenen Abflusspfade berechnen sich nach dem jeweiligen Anteil des Pfades an der zuvor berechneten Wasserbilanz. Auch die Aufteilung der Fracht im Sickerwasser in eine Fracht im Zwischenabfluss bzw. Grundwasserabfluss erfolgt abflussanteilig. In Folge von Denitrifikationsprozessen während der Abflusspassage im Grundwasserleiter können die bisher betrachteten flächenbezogenen Emissionen deutlich reduziert werden. Im Modell wird eine vereinfachende Abschätzung der Denitrifikation im Grundwasserleiter in Abhängigkeit von der grundwasserführenden Gesteinseinheit vorgenommen. Dabei wird die Denitrifikationsleistung im Grundwasserleiter anhand der gewählten Halbwertszeit der Denitrifikation und der Grundwasserverweilzeit bestimmt. Der Ansatz greift u.a. auf Arbeiten von F. Wendland & R. Kunkel (1999) und R. Schwarze (2004) zurück. Eine Modifizierung und Regionalisierung wurde von J. Ullrich (2006) durch Hinzuziehung von grundwasserchemischen Beschaffenheitsdaten und Isotopendaten zur Altersbestimmung des Grundwassers in Sachsen vorgenommen.

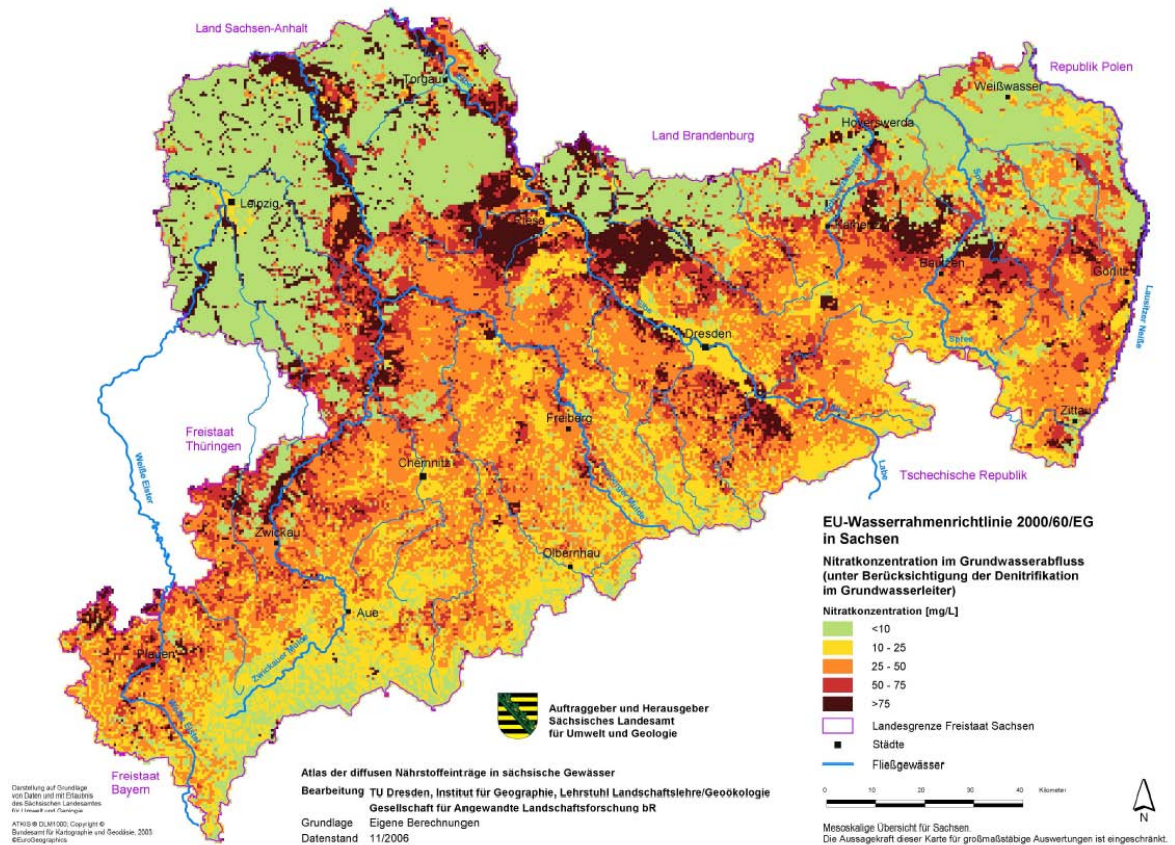
## Ergebnisse

Auf den Ackerflächen ergeben sich in den Lössgebieten vor allem aufgrund der guten Ertragssituation relativ enge Bilanzsalden und damit vergleichsweise geringe N-Austräge. Höhere Frachten werden dagegen in den nördlich angrenzenden Heide- und Teichlandschaften sowie im südlich gelegenen Mittelgebirge und Vorland erreicht. Die Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser liegen in den nördlichen Landesteilen aufgrund der geringen Abflussspenden und der höheren Bilanzsalden am höchsten. Im Mittelgebirge und Vorland haben die hohen Abflussspenden dagegen einen Verdünnungseffekt zur Folge. Die Konzentrationen sind hier am geringsten (Fig. 2).



**Fig. 2.** Nitratkonzentrationen im Sickerwasser im Gebiet des Freistaates Sachsen  
**Fig. 2.** Concentrations of nitrate into seepage [mg/l] in the area of Saxony

Für die Nitratkonzentrationen im Grundwasserleiter zeigt sich gegenüber der Modellierung für die Sickerwasserpassage aufgrund der Berücksichtigung von Denitrifikationsprozessen im Aquifer ein abweichendes Bild (Fig. 3). Gebiete mit günstigen Denitrifikationsbedingungen und langen Verweilzeiten sind durch eine starke Reduzierung der Frachten und Konzentrationen gekennzeichnet (v.a. Heide- und Teichlandschaft im nördlichen Landesteil). Die höchsten Konzentrationen treten dagegen im Lössgebiet (Mittelsachsen) auf, wenn geringe Abflussspenden mit niedrigen Verweilzeiten und ungünstigen Denitrifikationsbedingungen einhergehen. Trotz der im Berechnungsansatz enthaltenen Unschärfen, ergibt sich im Vergleich mit den Messnetzdaten in den oberen Grundwasserleitern sowie den Oberflächengewässern eine größenordnungsmäßige Übereinstimmung zu den Modellergebnissen (J. Ullrich, 2006, K. Grunewald et al., 2006). Insofern liegt mit der Erstellung des Stoffatlas eine flächendeckende Planungsgrundlage im Sinne der WRRL für Sachsen vor. In einem nächsten Schritt werden in enger Abstimmung mit der Landesanstalt für Landwirtschaft Szenarien implementiert, die die Effizienz möglicher Reduzierungsstrategien für Stickstoff und Phosphor abbilden sollen.



**Fig. 3.** Nitratkonzentrationen im Grundwasser im Gebiet des Freistaates Sachsen

**Fig. 3.** Concentrations of nitrate in groundwater [mg/l] in the area of Saxony

## Literatur

ARMAN, B., N. BILLEN, G. HÄRING (2002): Ein Nährstoff macht sich vom Acker. – In: [www.hohenlohekreis-umwelt.de](http://www.hohenlohekreis-umwelt.de)

GEBEL, M., KAISER, M., KORTE, S., LAMBRECHT, H., FINCK, M. (2005): Calculation of diffuse seepage loads of nitrogen in the Upper Rhine Valley using the STOFFBILANZ model. In: EWRA 6<sup>th</sup> Int. Conference: Sharing a common vision of our water resources, Conf. Proceedings, 1-20

GRUNEWALD, K., GEBEL, M., HALBFAß, S., KAISER, M., BÜRGER, S. (2006): Atlas der diffusen Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer. FuE-Vorhaben im Auftrag des LfUG Sachsen (im Druck).

SCHWARZE, R. (2004): Regionalspezifische Analysen in der Festgesteinsregion. - In: Becker, A. & W. Lahmer: Wasser- und Nährstoffhaushalt im Elbegebiet und Möglichkeiten zur Stoffeintragsminderung. S. 183 – 224.

ULLRICH, J. (2006): Berücksichtigung von Stickstoffumsatzprozessen im Grundwasserleiter mit dem Modell STOFFBILANZ. Unveröff. Diplomarbeit TU Dresden, Inst. f. Geographie, 109 S.

WENDLAND, F. & KUNKEL, R. (1999): Das Nitratabbauvermögen im Grundwasser des Elbeeinzugsgebietes. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Bd. 13

# Prognose der diffusen N-Austräge in das Grundwasser aus den Agrarflächen Sachsen-Anhalts

U. Franko/M. Puhmann/I. Prutzer

Helmholz Zentrum für Umweltforschung UFZ  
Department Bodenphysik  
Theodor-Lieser-Str 4  
D- 06120 Halle – Germany

## Summary

This paper gives an overview about the methodology used to determine the potentials for a reduction of diffuse nitrogen export from arable soils into groundwater in the federal country ‚Sachsen-Anhalt‘ in central Germany using the CANDY model that has been calibrated for this study with data sets from long term monitoring sites. Besides the standard scenario ‚business as usual‘ a number of alternatives have been simulated in order to find site specific solutions to reduce nitrate losses into groundwater. The task required the completion of the CANDY model with a module to simulate the application of mineral fertilizers and another module for grassland dynamics including cattle grazing. Results show that the solutions are very much site specific. Biological farming has on all sites a very low rate of nitrogen leaching but this strategy has also very limited possibilities for a further expansion. From an economical point of view a reduced input of mineral fertilizers provides the most effective opportunity to reduce N-leaching and NO<sub>3</sub>-concentration in the percolation water.

## Einleitung

Im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie rücken Fragen zur möglichen Minderung der diffusen N-Austräge aus landwirtschaftlichen Systemen in den Mittelpunkt. Im Rahmen eines vom Land Sachsen-Anhalt vergebenen Projektes wurde eine Methodik entwickelt, um die N-Austräge aus Acker- und Grünland zu modellieren und deren Trend für verschiedene Entwicklungsszenarien zu prognostizieren. Im Folgenden wird die Ableitung der Szenarien, der Aufbau des GIS und die benutzte Technik zur Organisation der Simulationsläufe kurz beschrieben.

## Ableitung der Szenarien

In einer Vorbereitungsphase wurden die Daten von 22 Bodendauerbeobachtungsflächen des Landes Sachsen-Anhalt mit dem CANDY-Modell bearbeitet, um standörtlich angepasste Parameter für die Berechnungen im gesamten Bundesland zu erhalten. Für diese Modellkalibrierung standen neben Klima-, Boden- und Bewirtschaftungsdaten Untersuchungsergebnisse zum Bodenwasserhaushalt und zur N-Dynamik von 1996 - 2003 zur Verfügung.

Grundlage zur Abbildung der Landnutzung waren die agrarstatistischen Angaben von 2003, die von der Ebene der Landkreise auf die der Bodenregionen übertragen wurden. Aus der Agrarstruktur der Bodenregionen wurden dann ‚virtuelle Betriebe‘ konstruiert. Eine solche Betriebsstruktur ist hierbei durch eine Acker-Fruchtfolge und in Abhängigkeit von der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung durch den Grünlandanteil und den Tierbestand charakterisiert.



Die Aufstellung von Fruchtfolgen und die Zuordnung der verschiedenen Formen der Grünlandnutzung erfolgte entsprechend dem Anbauverhältnis der ausgewählten Bodenregion unter Berücksichtigung der praxisüblichen Regeln. Die Zuordnung der Tierbestände erfolgt als Anzahl Rinder bzw. Schweine in der Fruchtfolge einschließlich des zur Betriebsstruktur gehörenden Grünlandanteils.

Für alle benutzten Fruchtarten wurden Mustertechnologien aufgestellt, in denen die für die CANDY-Simulation notwendigen Daten des Agrarmanagements (Bodenbearbeitung, Anbaudaten, Düngetermine) abgebildet sind. Die Zielderträge werden auf Grundlage der Statistikdaten zur Ausführzeit an die jeweiligen Standortbedingungen angepasst. Die Mineral-N-Düngung wird durch CANDY nach dem praxisüblichen Verfahren der Düngeberatung ( $N_{\min}$ -Methode) ermittelt. Dazu wurde CANDY um ein Düngemodul erweitert, das auf der Basis der simulierten  $N_{\min}$ -Werte die zu applizierende N-Düngung für maximal vier Termine berechnet. Die dafür notwendigen Parameter betreffen Pflanzen, org. Dünger und Bodendaten. Sie sind zusätzlich zu den Standard-Parametersätzen erforderlich, können aber über das Anwender-Interface gepflegt werden. Die jeweiligen Düngemengen werden aktuell zur Laufzeit bestimmt, wobei auch die Applikation einer Null-Menge erfolgen kann. Die Simulation der Grünlandnutzung erfolgt mit einem ebenfalls zusätzlichen Grünland-Modul, das sowohl Wiese als auch Weidenutzung mit Viehauf- und -abtrieb abbildet (SCHMIDT, 2004).

Als Anfangsbedingungen für den Herbst 1990 wurden die typischen  $N_{\min}$ -Verhältnisse (KÖRSCHENS ET AL., 1988) und der in einem vorangegangenen Projekt (FRANKO ET AL., 1997) modellierte Humusstatus benutzt. Davon ausgehend wurde bis 2003 die aktuelle Landnutzung simuliert, die als ‚baseline‘ Szenario bis 2030 fortgesetzt wurde.

Um den Einfluss potentieller Landnutzungsänderungen ermitteln zu können, wurden weitere Szenarien zur Flächenstilllegung, zur Grünlandextensivierung, zur Ausweitung des Ökologischen Landbaus und zur Reduktion der Mineraldüngerapplikation aufgestellt und unter Fortsetzung der Fruchtfolgen bis zum Jahr 2030 simuliert.

## **Regionalisierung - GIS**

Die Gliederung der Landesfläche entsprechend ihren natürlichen Standortbedingungen erfolgte auf Grundlage der Karte der Bodenlandschaften im Maßstab 1:200.000 von Sachsen-Anhalt. Mit der Aggregierungsstufe der Bodenregionen konnte das Land Sachsen-Anhalt in fünf verschiedene naturräumlichen Einheiten unterteilt werden, die eine sinnvolle Zuordnung der auf Kreisebene vorliegenden Agrarstrukturen ermöglichte. Im Gegensatz zur klassischen Naturraumdefinition wurden hier die naturräumlichen Einheiten ausschließlich über den Boden abgegrenzt. Begründet wird diese Vorgehensweise damit, dass CANDY auf Basis von Boden- und Klimadaten arbeitet und somit die Bodeneigenschaften wesentlich die zu simulierenden Umsatzprozesse im Boden beeinflussen. In Abhängigkeit vom prozentualen Flächenanteil eines Kreises an einer Bodenregion fließt die Agrarstruktur dieses Kreises flächengewichtet in die zu ermittelnde Agrarstruktur der Bodenregion ein. Zur Charakterisierung der Bodenregionen bezüglich ihrer Landbewirtschaftung wurden die Anbaufläche und Erträge der Fruchtarten, die Flächen je betriebswirtschaftlicher Ausrichtung und die Tierbestände als Gesamtstückzahl je Tierart aus den agrarstatistischen Angaben entnommen.

Neben den fünf Bodenregionen wurden sieben Klimagebiete definiert, deren Wetterverlauf (Tageswerte von Niederschlag, Lufttemperatur und Globalstrahlung) durch jeweils eine Wetterstation bestimmt wird. Eine weitere regionale Untersetzung der Niederschlagsheterogenität erfolgte durch das Zuweisen von Niederschlagsfaktoren zu den einzelnen Patches. Diese Faktoren modifizieren den aktuellen Niederschlag zur Ausführzeit. Sie wurden auf der Basis einer Rasterkarte des DWD zu langjährige Mittelwerten des Jahresniederschlags berechnet. Für alle Prognoseszenarien wurde der CANDY-Wettergenerator, parametrisiert auf der Datenbasis von 1973-2003, eingesetzt. Die durch Verschnitt der Ebenen ‚Bodenlandschaft‘, ‚Bodenform‘ (BÜK200), Landnutzung (Acker, Grünland nach CORINE Landcover) und Klimagebiete

entstandenen Patches wurden abschließend mit einem Niederschlagsraster (1x1 km; DWD) überlagert, wobei den Patches die jeweiligen Niederschlagsmittelwerte zugewiesen wurden. Auch die Grenzen der Klimagebiete wurden an die Geometrie der Bodeninformation angepasst, um Artefakte zu vermeiden.

## **Organisation der Simulationsrechnungen**

Die Informationen zur Agrarstruktur der Bodenregionen sind in einer Datenbank abgelegt. Mit Hilfe eines Delphi-Programmes wurden daraus vereinfachte landwirtschaftliche Betriebsstrukturen abgeleitet. Für jedes zu simulierende Szenario wurde eine ACCESS-Datenbank erzeugt, die Bewirtschaftungsabläufe, GIS-Objekte, Szenariodefinition und Simulationsergebnisse als Datenblöcke enthält. Mit Hilfe dieser Datenbank erfolgt gleichzeitig die Steuerung der Simulationsläufe und die Verwaltung der Ergebnisse. Das CANDY Modell benutzt als Input Parameter, organisatorische Basisdaten der Schläge, Klimadaten, Managementdaten und Messwerte. Die Parameter sind in einer ACCESS-Datenbank zusammengefasst – alle übrigen Daten werden in Form von dBase-Tabellen verarbeitet. Zur Ausführzeit werden die Managementdaten und die Messwerte über SQL-Befehle aus den Inhalten der Szenario-Datenbank generiert. Die ‚Messwerte‘ wurden hier benutzt, um die Anfangsbedingungen für den Herbst 1990 objektspezifisch definieren zu können.

Zur Ergebnisausgabe gibt es verschiedene Optionen. Hier wurde das Modell so gestartet, dass die berechneten Resultate - zu Jahreswerten aggregiert - direkt in die Szenario-Datenbank geschrieben wurden. CANDY kann den aktuellen Wert der Zustandsgrößen in einer binären Status-Datei ‚einfrieren‘. Diese Möglichkeit wurde benutzt, um den Status für 2003 im ‚status quo‘-Szenario festzuhalten. Nach Abschluss der Szenario-Simulation werden diese Dateien aggregiert und ebenfalls in der Szenario-Datenbank gespeichert. Für die Folgeszenarien wurden die Status-Sätze wieder exportiert und CANDY so gestartet, dass die Anfangsbedingungen aus den Binärfiles geladen wurden.

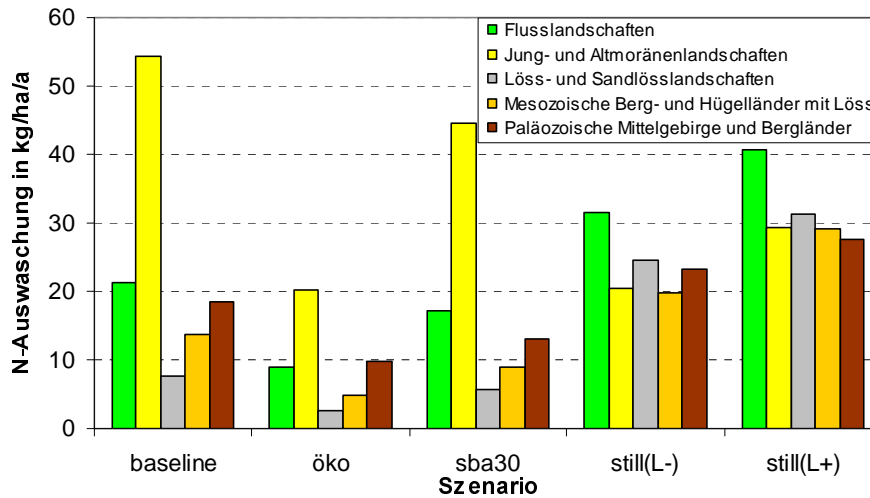
## **Ergebnisse**

Die Veränderung der N-Auswaschung durch die geprüften Szenarien ist sehr stark von den jeweiligen Standortbedingungen abhängig. Nicht in jedem Fall führen die Umstellung auf Ökolandbau oder die Düngereduktion auch zu reduzierter N-Auswaschung. Im Mittel aller Fälle wird durch den Ökolandbau im Vergleich zur Standardbewirtschaftung nach ‚Guter Fachlicher Praxis‘ eine 50%-ige Reduktion der N-Auswaschung berechnet (vgl. Fig. 1). Die Reduktion der N-Mineraldüngung um 30% ergibt im Mittel einen Rückgang der N-Auswaschung auf 75%. In Einzelfällen wird hier überhaupt kein Sanierungseffekt erreicht und im anderen Extrem kann die Auswaschung nahezu völlig gestoppt werden. Die Kosten, die hier aus dem verringerten Deckungsbeitrag ermittelt wurden, weisen die Reduktion der Mineraldüngung als ein sehr effektives Werkzeug aus (Fig. 2).

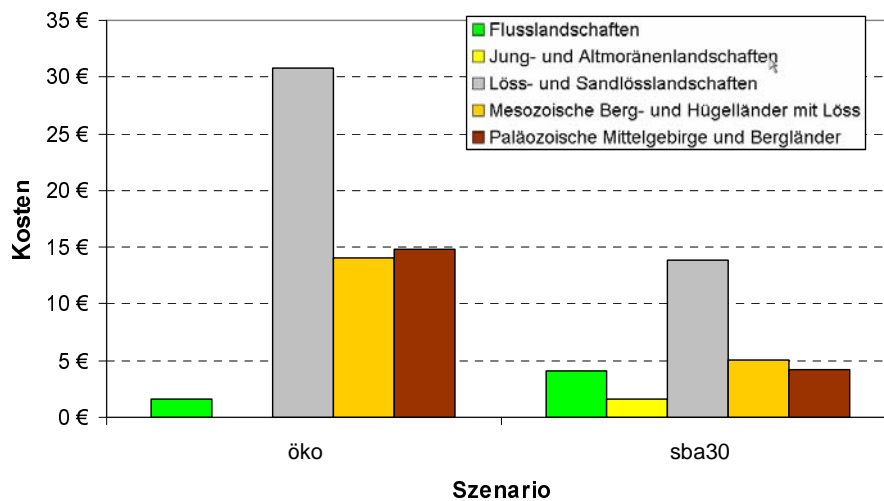
Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, dass durch die Verbindung von punktbezogener Modellkalibrierung an den Dauerbeobachtungsflächen und der beschriebenen Regionalisierung der Agrarstatistikdaten ein relativ gut handhabbares System zur großräumigen Analyse der Auswirkung von Landnutzungsänderungen geschaffen wurde, das auch für andere Fragestellungen – wie z.B. Prognosen zur Entwicklung der Humusgehalte – anwendbar ist.

## **Acknowledgement**

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde durch das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt mit Mitteln des Europäischen Strukturfonds (EFRE) und des Ministeriums für Wirtschaft und Arbeit des Landes Sachsen-Anhalt gefördert.



**Fig. 1:** Mittelwerte der Stickstoffauswaschung der für die einzelnen Bodenlandschaften untersuchten Szenarien. (Average Nitrogen leaching rates of the simulated scenarios for the individual soil landscapes)



**Fig. 2:** Kostenvergleich von Ökolandbau und Reduktion der Mineraldüngung für die einzelnen Bodenlandschaften. (Comparison of economic costs for Biofarming and reduction of mineral fertilizer)

## Literatur

- FRANKO, U. et al. (1997): Einfluß von Standort und Bewirtschaftung auf den N-Austrag aus Agrarökosystemen. UFZ-Bericht 10/1997, Leipzig.
- KÖRSCHENS, M. et al. (1988): Die Abhängigkeit der N-Gehalte im Frühjahr von Bodenart, Witterungsverlauf und Vorfrucht. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd., 32; S. 107-144.
- SCHMIDT, T. (2004): Integrierte Methodik zur ökologischen und ökonomischen Analyse von Agrarsystemen unter Berücksichtigung von Unsicherheiten. UFZ-Bericht 20/2004

**Block I Diffuser Stoffeintrag in das Grundwasser und dessen quantitative Prognose/  
Diffuse Inputs into the Groundwater and Their Quantitative Prediction**

**Session 2 Modellierung von Gesamtsystemen - Koppelung der ungesättigten und der gesättigten Zone/  
Modelling of Entire Systems - Linking of the Unsaturated and Saturated Zone**

**Fastl, Georg (Weinbauschule Silberberg/Leibnitz), J. Robier:**

Der Großparzellenversuch Wagna und dessen Bewirtschaftung (1987 – 2003)

**Kupfersberger, Hans (Joanneum Research/WRM, Graz):**

Modelling of Groundwater Recharge and Nitrogen Input from the Unsaturated Zone at the Wagna Research Field (Modellierung von Grundwasserneubildung und Stickstoffeintrag aus der ungesättigten Zone am Versuchsfeld Wagna)

**Fank, Johann (Joanneum Research/WRM, Graz), G. Rock:**

Modelling of Water Flow and Water Transport as the Basis for Predicting the Distribution of Diffuse Solute Input into the Groundwater

**Larsen, Ole (DHI Wasser & Umwelt GmbH):**

Integrierte Betrachtung ungesättigte/gesättigte Zone in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten – Kopplung DAISY/MIKE SHE

**Walther, Wolfgang (vormals/formerly TU Dresden), C. Konrad, R. Well, T. Reimann:**

Identification of Denitrification by Measurement of N<sub>2</sub>, Ar and N<sub>2</sub>O as Aid for the Modelling of the Nitrate Transport

**Gömann, Horst (Federal Agricultural Research Centre Braunschweig), P. Kreins, R. Kunkel, F. Wendland:**

Integrated Agricultural and Hydrological Modelling within an Intensive Livestock Region Taking Supra-Regional Manure Transports into Account

**Casper, Markus (University of Trier), H. Lambrecht, J. Grimm-Strele, T. Gudera, S. Korte, N. Graveline,:**

Prognosis of Future Nitrate Input into the Upper Rhine Aquifer

# **Der Großparzellenversuch Wagna und dessen Bewirtschaftung (1987 – 2003)**

G. Fastl<sup>1)</sup>/J. Robier<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Weinbauschule Silberberg

A-8430 Leibnitz Austria Kogelberg 16;

<sup>2)</sup> Versuchsreferat der steirischen Landwirtschaftsschulen

A- 8361 Hatzendorf 181

## **Summary**

In the field-experiment in Wagna, which is done on light soils with very different thickness, there are significant differences in yield at different planting measures. This experiment deals with the reduction of nitrate leaching into groundwater. Manifold variants of manuring on growing maize and a crop-rotation were examined between 1987 and 2003. A reduced mineral nitrate fertilization produced highly significant decrease in yield, as well as a reduced mixed fertilization with mineral nitrate fertilizer application and semiliquid manure. The mineral nitrate manuring results in – compared with the pure fertilization with semiliquid manure – highly significantly better yields. The single plots are very heterogeneous, that's why the yield vary a lot dependig on the precipitation amount during the vegetation period. Within dry years the planting measures recede into the background.

## **Einführung**

Der Feldversuch Wagna befindet sich im Grundwasserschongebiet des Leibnitzer Feldes. Das Ausgangsmaterial bildet eine silikatische Lockersedimentbraunerde auf sandig schottrigem Terrassenmaterial. Der Tongehalt der beträgt im Mittel 14,6 % (Schwankung von 12,0 bis 17,8 %), der Sandanteil 51,8 % (Schwankung von 46,8 und 55,2 %). Der Humusgehalt schwankt zwischen 1,3 und 2,2 %. Die Mächtigkeit reicht von 25 cm bis 150 cm und mehr. In Summe handelt es sich um leichte Böden mit geringem Wasserspeichervermögen. Das Versuchsfeld ist in sich sehr heterogen und es wechseln Trockenklemmen mit tiefgründigen Stellen im engen Raum.

## **Fragestellung des Versuches:**

Welche pflanzenbaulichen Maßnahmen eignen sich zur Verminderung des Nitratreintrages in das Grundwasser? Welche Auswirkungen üben diese Maßnahmen auf den Ertrag aus?

Dabei wurden vier Düngungsvarianten in einer Körnermaismonokultur (Gülle und Mineraldüngung) und eine vierschlägige Fruchtfolge mit den Fruchtfolgegliedern Körnermais, Körnermais, Wintergetreide und Raps beziehungsweise ab 1998 Ölkürbis untersucht.

## **Versuchspläne und Bewirtschaftungsdaten:**

Der Feldversuch in Wagna stellt einen langjährig geführten Großparzellenversuch (Parzellengröße 1000 m<sup>2</sup>) dar. Die Bewirtschaftung wird mit praxisüblichen Geräten durchgeführt. Der Versuch

besteht seit 1987, ab 1992 ist eine Lysimeteranlage integriert. Zwischen 1987 und 1997 wurde nach dem Versuchsplan 1 (Tabelle 1) und zwischen 1998 und 2003 wurde nach dem Versuchsplan 2 (Tabelle 2) gearbeitet.

**Tabelle 1.** Versuchsplan 1 (1987 bis 1997) (experiment 1 – 1987 – 1997)

<u>Versuchsanlage:</u>	mehrfaktoriell	
	Parzellenzahl:	16 Varianten mit 2 Wiederholungen = 32 Parzellen
Der Versuch besteht aus 4 Düngungsvarianten in der Körnermaismonokultur und 4 Varianten in Fruchtfolge. Diese 8 Varianten wurden mit 2 verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (konventionell und alternativ) bearbeitet.		
<u>Düngungsvarianten in einer Körnermaismonokultur (KM = Körnermais):</u>		
<i>Der Güllestickstoff wird als feldfallender Stickstoff (Gesamt N * 0,75) gerechnet.</i>		
* KM1 in der Monokultur: verminderte mineralische N- Düngung		<b>120 kg N/ha</b>
	60 kg N/ha aus Mineraldünger zum Anbau	
	60 kg N/ha aus Mineraldünger Ende Mai/Anfang Juni	
* KM2 in der Monokultur: mineralische N- Düngung		<b>180 kg N/ha</b>
	60 kg N/ha aus Mineraldünger zum Anbau	
	60 kg N/ha aus Mineraldünger im Mai	
	60 kg N/ha aus Mineraldünger Anfang Juni	
* KM3 in der Monokultur: Güllegabe mit Herbstgüllung		<b>180 kg N/ha</b>
	60 kg N/ha als Schweinegülle im Herbst zur Strohhotte	
	60 kg N/ha als Schweinegülle vor dem Anbau	
	60 kg N/ha als Schweinegülle zur Hacke Anfang Juni	
* KM4 in der Monokultur: Güllegabe im Frühjahr und Juni		<b>180 kg N/ha</b>
	90 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat	
	90 kg N/ha als Schweinegülle in den Bestand Anfang Juni	
<u>Fruchtfolgevarianten:</u>		
* Körnermais (KM5) in der Fruchtfolge nach Sommerzwischenfrucht mit Leguminosenanteil:		<b>120 kg N/ha</b>
	60 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat	
	60 kg N/ha als Schweinegülle in den Bestand Anfang Juni	
* Körnermais (KM6) in der Fruchtfolge: nach KM5		<b>180 kg N/ha</b>
	Düngung wie KM3	
* Wintergetreide:	mit nachfolgendem Winterkörnerrapsanbau	
	60 kg N/ha aus Schweinegülle (Güllegabe im Herbst zu Anbau und im zeitigen Frühjahr), mineralische Ergänzung nach Beobachtung	
* Winterkörnerraps mit nachfolgender Sommerzwischenfrucht mit Leguminosenanteil		
	150 kg N/ha aus Schweinegülle (60 kg N/ha zum Anbau im Herbst und 90 kg N/ha im zeitigen Frühjahr) mineralische Ergänzung bis zu 180 kg N/ha	
<u>Konventionelle Bodenbearbeitung:</u> Herbstfurche mit Pflug und übliche Saatbeetbereitung		
<u>Alternative Bodenbearbeitung:</u> Frühjahrsfurche mit üblicher Saatbeetbereitung großteils nach einer Gründedecke bei Körnermais. Bei Getreide und Raps erfolgte die Bodenbearbeitung mit dem Grubber, danach wurde die Saat mit einer zapfwellenbetriebenen, rotierenden Taumelscheibenegge (Fa. Safental) und Drillmaschine in einem Arbeitsgang durchgeführt.		

Versuchsplan 2: 1998 wurde der Versuch grundsätzlich umgestellt. Im Versuchsplan 2 (1998 bis 2003) wurden weitere Maßnahmen zur Reduktion des Nitratreintrages verwirklicht. Die Maßnahmen sind eine starke Reduzierung der N- Düngung, keine Leguminosen in den Zwischenfrüchten, winterharte Gründedecken in allen Varianten, keine Herbstgüllung weder auf Gründedecken noch vor Wintergetreide, Frühjahrsfurche bei Mais und Kürbis. Zusätzlich werden diese Varianten mit einer Standardvariante verglichen, und ein Sollwertsystem sollte abgetestet werden.

**Tabelle 2.** Versuchsplan 2 - 1998 bis 2003 (experiment 2 1998 – 2003)

<b>Versuchsanlage:</b>	Parzellenzahl:	8 Varianten mit 4 Wiederholungen = 32 Parzellen
<u>Düngungsvarianten in einer Körnermaismonokultur (KM = Körnermais):</u>		
<i>Der Güllestickstoff wird als feldfallender Stickstoff (Gesamt N * 0,75) gerechnet.</i>		
* KM1 in der Monokultur: N- Düngung nach der Empfehlung der landwirtschaftlichen Umweltberatung		<b>107 kg N/ha</b>
	50 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat	
	57 kg N/ha mineralisch zur Hacke Ende Mai/Anfang Juni	
* KM2 in der Monokultur: N- Düngung nach der Sollwertmethode		<b>(95)- 145 kg N/ha</b>
	0-50 kg N/ha aus Mineraldünger zum Anbau je nach $N_{\min}$ - Gehalt im Boden	
	35 kg N/ha aus Mineraldünger im Mai	
	60 kg N/ha aus Mineraldünger Ende Mai/Anfang Juni	
* KM3 in der Monokultur: Standardvariante		<b>175 kg N/ha</b>
	70 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat	
	50 kg N/ha mineralisch zum Anbau	
	55 kg N/ha mineralisch zur Hacke Ende Mai anfangs Juni	
* KM4 in der Monokultur: optimierte Gülleanwendung		<b>107 kg N/ha</b>
	50 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat	
	57 kg N/ha als Schweinegülle in den Bestand	
<u>Fruchtfolgevarianten:</u>		
* Körnermais (KM5) in der Fruchtfolge nach Kürbis mit Untersaat		<b>107 kg N/ha</b>
	Düngung wie KM4	
* Körnermais (KM6) in der Fruchtfolge nach Körnermais 5		<b>107 kg N/ha</b>
	Düngung wie KM4	
* Wintergerste	mit nachfolgender Gründüngung ohne Leguminosen	
	50 kg N/ha aus Schweinegülle im Frühjahr	
	mineralische Ergänzung nach Beobachtung	
* Ölkürbis	mit Untersaat aus englischem Raygras	
	40 kg N/ha Gülle vor dem Anbau	
	mineralische Ergänzung nach Beobachtung	
Ergänzung zu KM2:		
Da die gemessenen $N_{\min}$ – Gehalte im Boden knapp vor dem Anbau sehr gering waren, empfahl die Sollwertmethode immer eine Anbaudüngung mit der maximalen Menge von 50 kg N/ha. Aus der Sollwertvariante wurde daher in den 6 Jahren eine Variante mit mineralischer N- Düngung mit einer Düngung von 145 kg N/ha.		

## Bewirtschaftungsintensitäten

Auf Grund der niedrigen N- Gehaltswerte der Gülle in den Jahren 1992 bis 1997 kam es zu Abweichungen der gedüngten N- Menge in der Praxis im Vergleich zum Versuchsplan. Daher ergeben sich im Versuchsplan 1 zwei Phasen mit unterschiedlicher N- Düngungsintensität. Eine dritte Phase ergibt sich mit dem Versuchsplan 2.

**Phase 1:** Versuchsplan 1 1987 bis 1991: mittlere Düngung aller Varianten 178 kg N/ha  
(mittlere N- Düngung aller Körnermaisvarianten 184 kg N/ha)

**Phase 2:** Versuchsplan 1 1992 bis 1997: mittlere N- Düngung aller Varianten 140 kgN/ha  
(mittlere N- Düngung aller Körnermaisvarianten 137 kg N/ha)

**Phase 3:** Versuchsplan 2 1998 bis 2003: mittlere N- Düngung aller Varianten 122 kg N/ha  
(mittlere N- Düngung aller Körnermaisvarianten 128 kg N/ha)

In den Phase 1 und Phase 2 wurde in einzelnen Varianten eine Herbstgüllegabe verabreicht und ein Leguminosenanteil in der Sommerzwischenfrucht angebaut. In der Phase 3 wurde auf diese Maßnahmen verzichtet.

## Interpretation der Ertragsergebnisse Versuchsplan 1 - 1987 bis 1997:

In den Jahren zwischen 1988 und 1997 ergab eine geminderte, mineralische N- Düngung bei Körnermais (Vergleich zwischen KM1 - 180 kg N/ha und KM2 - 120 kg N/ha) einen gesicherten Minderertrag von 935 kg Kornertrag (Tabelle 3). Die reine Gülledüngung bei Körnermais bringt im ersten Versuchsplan 1 (1988 bis 1997) bei nahezu gleicher N- Düngungshöhe gesicherte Mindererträge gegenüber der reinen mineralischen N- Düngung. (Tabelle 3 - Vergleich zwischen KM2 und KM3 oder KM4). Nach D. EBERDORFER (1998) bringt Körnermais in der Monokultur nach einer Herbstfurche im Vergleich zu einer Frühjahrsfurche signifikant höhere Erträge. Bei Körnermais in der Fruchtfolge trifft das nicht zu.

**Tabelle 3.** Ertragsergebnisse in kg/ha Kornertrag im Versuchsplan 1 (yield results of grain in kg/ha in experiment 1): GD für den Vergleich aller Körnermaisvarianten 413 kg/ha\*\*; GD für den Vergleich von KM3 und KM6 (Mais in Monokultur und in Fruchtfolge) 620 kg/ha\*\* (D. EBERDORFER 1998)

Variante	KM1	KM2	KM3	KM4	KM5	KM6	Wintergetreide	Winterraps
Durchschnitt 1988 bis 1997 konventionelle und alternative Bodenbearbeitung	8948	9883	8338	8707	8466	7881	4989	2024

## Interpretation der Ertragsergebnisse Versuchsplan 2 - 1998 bis 2003:

Einen statistisch gesicherten Minderertrag von 462 kg bringt die Variante KM1 (107 kg N/ha) im Vergleich zur Variante KM3 (175 kg N/ha), beide wurden mit Gülle und Mineraldünger gemischt gedüngt. Körnermais in der Fruchtfolge hat bei gleicher Düngung den gesichert höheren Ertrag (807 kg/ha) als Körnermais in der Monokultur (Tabelle 4 - Vergleichsvarianten KM4 und KM6), allerdings verhält sich dieses Ertragsverhalten im Versuchsplan 1 (1987 bis 1997) genau umgekehrt (Vergleichsvarianten KM3 und KM6 – Tabelle 3). Die Variante KM5 liegt im Ertragsniveau bei gleicher Düngung sogar um 1597 kg besser als KM4, was die gute Nachwirkung von Kürbis mit einer Untersaat unterstreicht (Tabelle 4).

**Tabelle 4.** Ertragsergebnisse in kg/ha im Versuchsplan 2 (yield results of grain in kg/ha in experiment 2): GD 5% für die Mittelwerte der Bewirtschaftungsvarianten von Körnermais über alle Jahre: 399 kg/ha (Statistische Berechnungen mit: PLABSTAT Version 20; J. PFERSCHER 2006)

Jahre/Varianten	KM1	KM2	KM3	KM4	KM5	KM6	Wintergerste	Ölkürbis
Durchschnitt 1998 bis 2003	8378	9086	8840	7331	8928	8138	4959	600

## Schlussfolgerungen

Bei Körnermais entspricht die N- Düngung in den Varianten mit reduzierter Stickstoffgabe dem N-Entzug durch den Kornertrag. Dieser Zusammenhang lässt auf eine gute Grundwasserverträglichkeit schließen. Verschiedene Körnermaissorten sollten in weiteren Versuchen auf Stickstoffeffizienz geprüft werden. Die aktuellen Lysimeterergebnisse geben einen Hinweis darauf, dass bei Getreide und Raps weitere Untersuchungen im Interesse der Grundwasserverträglichkeit notwendig sind.

## Literatur/References

EBERDORFER D. März 1998 Land und forstwirtschaftlicher Versuchsbericht 1997  
 PFERSCHER J. – VERSUCHSREFERAT DER STEIRISCHEN LANDWIRTSCHAFTSSCHULEN (J. ROBIER) Statistische Auswertung des Großparzellenversuchs



# Modellierung des Stickstoffaustrags aus der ungesättigten Zone am Versuchsfeld Wagna

H. Kupfersberger<sup>1)</sup>/J. Fank<sup>1)</sup>/G. Fastl<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> JOANNEUM RESEARCH

Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

<sup>2)</sup> Fachschule Silberberg - Versuchstätigkeit der Landwirtschaftsschulen

Kogelberg 16  
A-8430 Leibnitz – Austria

## Abstract

Since 1987 a large scale agricultural experiment is being run in Wagna, south of Leibnitz, to investigate the impacts of growing corn compared to crop rotation on nitrogen leaching into the groundwater using different fertilizing schemes. Numerical models describing the soil water balance and the transformation of nitrogen are being applied to compute the leachate of nitrogen at the bottom of every individual “hydrotop” (unique combination of cultivation, soil thickness and soil type). Regardless the fertilizing scheme corn monoculture leads to a smaller amount of nitrate leaching compared to the crop rotation variants which consist of a biannual transition between corn and barley, wheat and pumpkin. Depending on the cultivation the averaged leachate of nitrogen underneath a lot of land can vary by more than 100%. Different soil types influence the amount of nitrogen leachate on the order of 50%, whereas the soil thickness shows only little significance.

## Einleitung und methodische Vorgangsweise

Die Intensivierung des Ackerbaus führte in den letzten Jahrzehnten im Südosten und Osten Österreichs zu Belastungen des Grundwassers mit Nährstoffen (v.a. Stickstoff) über den zulässigen Grenzwerten. Daher wurde in Wagna, südlich von Leibnitz, im Jahr 1987 ein Großparzellenversuch eingerichtet, um die Auswirkung unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Grundwasserqualitätssituation testen zu können. Die ab 1992 verfügbaren Messdaten an der Lysimeterstation Wagna ermöglichen die Kalibration eines Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodells, so dass der Einfluss von Feinbodenmächtigkeit, Bodenform und Bewirtschaftung auf die Grundwasserneubildung und den Stickstoffaustrag quantifiziert werden können.

Für die Ermittlung der flächenhaften Verteilung der Feinbodenmächtigkeit standen verschiedene Punktinformationen zur Verfügung, welche zu einem flächendeckendem Raster der Feinbodenmächtigkeit interpoliert und daraus relevante Klassen der Feinbodenmächtigkeit abgeleitet wurden. An den Standorten der Schürfe (Berg, 1999) und der Lysimeter wurden die einzelnen Bodenhorizonte hinsichtlich ihrer Mächtigkeit sowie ihrer bodenphysikalischen Parameter im Detail erhoben. Diese Punktdaten wurden als Primärinformation mit den Angaben über die flächenhafte Verteilung der Bodenformen aus der österreichischen Bodenkarte, der Finanzbodenschätzung sowie der Detailbodenkartierung (Fank, 1999) in Form einer neuen Bodenformenkarte mit acht unterschiedlichen Bodenformen harmonisiert.

Der Großparzellenversuch besteht aus 32 Parzellen mit je ca. 1000m<sup>2</sup> Größe, auf denen von 1987 bis 1997 sechzehn unterschiedliche Bewirtschaftungsvarianten mit zweifacher Wiederholung gefahren wurden. Ziel war der Vergleich zwischen Maismonokultur und Fruchtfolgebewirtschaftung (mit 50 % Mais, Getreide und Raps) mit 4 unterschiedlichen Düngungsvarianten (nur Mineraldüngung, Mineraldüngung mit Gülledüngung in der Brache, gleiche Verwendung von Mineral- und Gülledüngung, nur Gülledüngung). Bis 1992 lag das Düngenniveau bei etwa 180 bis 200 kgN/ha/a. Für die Periode 1993 bis 1997 wurde der Düngeraufwand auf durchschnittlich weniger als 150 kg N/ha/a reduziert. Die Periode 1998 bis 2003 ist durch stark reduzierte N-Mengen (zwischen 120 und 175 kgN/ha/a) geprägt. Kürbis wurde nur in dieser Periode angebaut. Unter Verwendung von ARC/GIS wurden die Information der Bewirtschaftung, der Bodenform und der Feinbodenmächtigkeit miteinander verschnitten. Daraus entstanden insgesamt 278 so genannte "Hydrotope", die homogene Flächen mit einer einmaligen Kombination dieser drei Parametereigenschaften darstellen. Auf diese Hydrotope wurden die Modelle SIMWASER (Stenitzer, 1988) und STOTRASIM (Feichtinger, 1998) für den Zeitraum 1987 bis 2003 angewandt und Tageswerte der Grundwasserneubildung sowie die Nitratkonzentration des Sickerwassers berechnet.

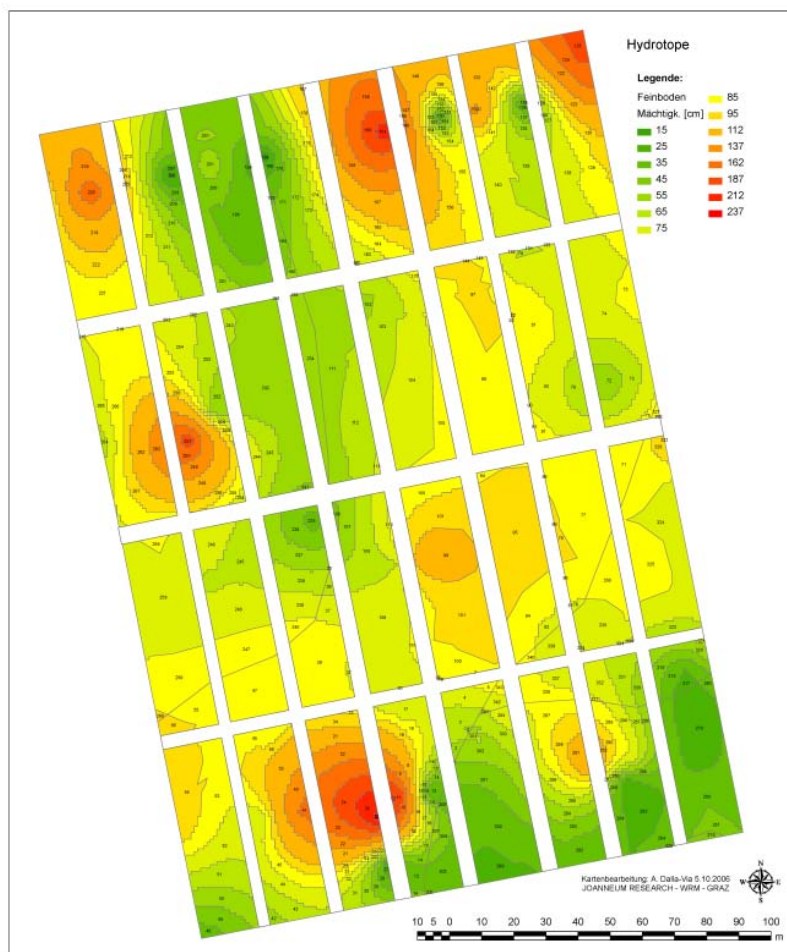


Fig. 1. Nummerierung der Hydrotope (Darstellung mit Feinbodenmächtigkeit)

## Ergebnisse

Aufgrund der relativ hohen Düngegaben im Zeitraum zwischen 1987 und 1998 konzentrieren sich die Auswertungen auf die Periode 1999 - 2003. In diesem Zeitraum ergibt sich ein jährlicher Mittelwert der berechneten Grundwasserneubildung gemittelt über alle Hydrotope von 342 mm.

Fig. 2 zeigt die über alle Hydrotone einer Bewirtschaftungsform flächengewichtete Summenlinie des Stickstoffaustrags. Es zeigt sich, dass die Maismonokultur unabhängig von der Düngeart und der Düngemenge zu geringeren Stickstoffausträgen führt als die Fruchtfolgebewirtschaftung. Innerhalb der Maismonokultur ergibt sich bei der Gülledüngung der geringste (ca. 16kg/ha/a) und bei der Mineraldüngung der höchste Stickstoffaustrag (ca. 34 kgN/ha/a). Dieser Wert liegt trotz 64% höherer Düngegabe nur wenig niedriger liegt als der Mittelwert des Stickstoffaustrags für die Fruchtfolgebewirtschaftung. Bei der Mittelung über alle Bodenformen und Feinbodenmächtigkeiten lässt sich für die Fruchtfolgevarianten keine eindeutige Beziehung zwischen der Höhe des Stickstoffaustrags und der Anzahl einzelner Früchte erkennen.

Aus weiteren Auswertungen ist deutlich zu erkennen, dass der alleinige Anbau von Körnermais unabhängig von der Düngeart zu einem im Durchschnitt 30% geringerem Stickstoffaustrag führt als die Anwendung der verschiedenen Fruchtfolgen. Dies ist ein überraschendes Ergebnis, da Maismonokultur mit Mineraldüngung bzw. mit Gülledüngung in die Brache und Mineraldüngung in den Bestand deutlich höhere Düngegaben als die Fruchtfolgen aufweisen. Bei der Auswertung der Rangordnungen der Bodenformen (bester Rang bei geringstem Stickstoffaustrag) bei gleicher Bewirtschaftung ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Bodenformen, was durch verschiedene Sandanteile im Verhältnis zum Ton- und Schluffanteil erklärt werden kann.

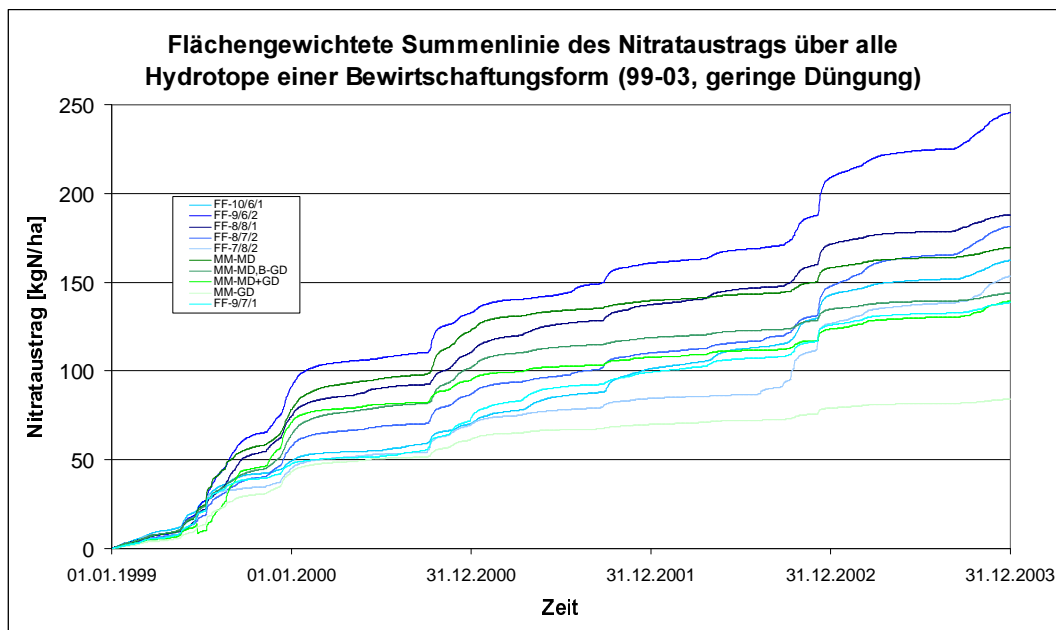


Fig. 2. Stickstoffaustrag pro Bewirtschaftungsform gemittelt über alle Hydrotone

## Diskussion

Obwohl der Großparzellenversuch nur eine Fläche von insgesamt ca. 3,5 ha umfasst, variiert die Feinbodenmächtigkeit um mehr als den Faktor 10 und es lassen sich 8 unterschiedliche Bodenformen voneinander unterscheiden. In der Regel stehen nicht so viele Teilinformationen zur Verfügung. So enthält die österreichische Bodenkarte am Standort Wagner nur 2 verschiedene Bodenformen. Betrachtet man die Auswertungen über einzelne Parzellen bzw. über alle Hydrotone einer Bewirtschaftungsvariante, so erkennt man eine Variabilität beim Stickstoffaustrag um den Faktor 3. Aus weiteren Ergebnissen lässt sich folgern, dass bei gleicher Düngegabe unter Feldern mit Maismonokultur weniger Stickstoff als bei Fruchtfolgebewirtschaftung in das Sickerwasser abgegeben wird. Bei gleicher Fruchtfolgebewirtschaftung und Feinbodenmächtigkeit kann der Stickstoffaustrag je nach Bodenform um bis zu 50% variieren. Die Feinbodenmächtigkeit scheint gegenüber den beiden Variablen Bewirtschaftung und Bodenform von untergeordneter Bedeutung

bezüglich der Auswirkungen auf den Stickstoffaustrag zu sein. Eine annähernde Verdreifachung der Feinbodenmächtigkeit (von 35 auf 115 cm) bewirkt lediglich eine Reduktion des Stickstoffaustrags um 37%.

Bei der Evaluierung von Maßnahmen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten ergibt sich somit die Notwendigkeit, mit vertretbarem Aufwand Detailkenntnisse hinsichtlich Bodenform und Feinbodenmächtigkeit zu gewinnen. Hauptaugenmerk wird aber auch in Zukunft auf einer Verbesserung des Düngermanagements in Kombination mit der angebauten Frucht liegen müssen, da somit ein deutlicher Rückgang der Nitratkonzentration im Sickerwasser bewirkt werden kann. Aufgrund der geringen Stickstoffaustragsraten scheint bei Mais die Gülledüngung grundwasserverträglich zu sein. Des Weiteren ist die pflanzenphysiologische Wirkung des Stickstoffanteils in der Gülledüngung im Vergleich zur Mineraldüngung genauer zu untersuchen, um die diesbezüglichen Unterschiede beim Stickstoffaustrag besser verstehen zu können. Für die Düngeperiode ab 1999 ergeben sich Sickerwasserkonzentrationen von Nitrat in der Größenordnung von 50 mg/l (Fank et al. 2006). Für die Beurteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser ist zusätzlich zu diesen Größen die Menge des Grundwasserzustroms sowie die Zuströmkonzentration von grundlegender Bedeutung. Für eine endgültige Bewertung der Grundwasserverträglichkeit der reduzierten Düngegaben über die Nitratkonzentrationen im Grundwasser reicht der simulierte Zeitraum zwischen 1999 und 2003 noch nicht aus, da die Verweilzeit des Niederschlagswassers in der ungesättigten Zone ca. 3 Jahre beträgt.

## Schlussfolgerungen

Simulationsrechnungen des Stickstoffaustrags über einen 17 jährigen Zeitraum unter einer ca. 3,5 ha großen landwirtschaftlichen Versuchsfläche haben gezeigt, dass Kombinationen aus Feinbodenmächtigkeit, Bodenform und Bewirtschaftung eine große Variabilität (bis zum Faktor drei) aufweisen. Als maßgebliche Einflussgröße hat sich dabei die Höhe und Art der Düngegabe in Zusammenhang mit der Fruchtfolge erwiesen. Der geringste Stickstoffaustrag ergibt sich für Maismonokultur mit Gülledüngung. Eine alternierende Bewirtschaftung zwischen Mais und Gerste, Weizen oder Kürbis hat keinen geringeren Stickstoffaustrag ergeben. Bedingt durch die Bodenform kann sich ein Unterschied beim Stickstoffaustrag von bis zu 50% ergeben, wohingegen der Einfluss der Feinbodenmächtigkeit eher untergeordnet zu sein scheint. In Kombination mit dem erzielten Ertrag ist zu untersuchen, inwieweit die Düngemittelgabe im Sinne der Minimierung des Stickstoffaustrags ins Grundwasser weiter reduziert werden kann.

## Literatur

- BERG, W. (1999): Neue Methoden zur Visualisierung und Quantifizierung bevorzugter Fließwege in der ungesättigten Zone. Diplomarbeit am Inst. f. Geographie und Raumforschung, Karl Franzens Universität Graz, 61 S.
- FANK, J. (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich).- Beiträge z. Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.
- FANK, J., G. FASTL, H. KUPFERSBERGER, G. ROCK (2006): Die Bewirtschaftung des Versuchsfeldes Wagna – Auswirkungen auf die Grundwassersituation. Bericht über das Seminar „Umweltprogramme für die Landwirtschaft und deren Auswirkung auf die Grundwasserqualität“, 7. – 8. März 2006, 43-48, Irtding-Gumpenstein
- FEICHTINGER, F. (1998): STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. In: BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT [HRSG] (1998): Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, 14-41, Wien.
- STENITZER, E. (1988): Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitt. aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31, Petzenkirchen.

# Modelling of Water Flow and Water Transport as the Basis for Predicting the Distribution of Diffuse Solute Input into the Groundwater

J. Fank & G. Rock

JOANNEUM RESEARCH  
Institute of Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## Zusammenfassung

Zur Prognose der Verteilung von Stoffen im Grundwasser aus vornehmlich punktuellen Quellen wird schon seit längerer Zeit die Stofftransportmodellierung in unterschiedlicher Detaillierung eingesetzt. Bei Fragen der Prognose der Auswirkung von Änderungen der Landnutzung auf die Grundwassersituation allerdings liegt der Ort des Eintragungsgeschehens im Prognosegebiet. Gleichzeitig erfolgt der Stoffeintrag in zeitlich hochgradig variablen Frachten praktisch an jedem Punkt des Untersuchungsgebietes.

Am Versuchsfeld Wagna (Steiermark – Österreich) mit insgesamt 32 Versuchsfeldern von je 1000 m<sup>2</sup> Fläche wurde die Grundwasserneubildung und ihre Stickstoffbefruchtung langfristig durch Modellrechnungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bodenverhältnisse und unterschiedlicher Nutzung auf Tagesbasis berechnet. Die Grundwassersituation wird durch ein kleinräumiges Grundwasserströmungsmodell, das in das regionale Modell des westlichen Leibnitzer Feldes eingebettet ist, sehr detailliert beschrieben. Auf Basis von Markierungsversuchen wurden hydrodynamische Transportparameter ermittelt und darauf basierend ein Grundwassertransportmodell für konservative Tracer kalibriert.

Ziel dieser Arbeit ist es, unterschiedliche Ansätze der Modellierung der Ausbreitung von Nitrat im Grundwasser unter Berücksichtigung des lokalen Eintragungsgeschehens aus der ungesättigten Zone zu vergleichen und Aussagen hinsichtlich der Anwendbarkeit für regionale Fragestellungen zu treffen. Die verglichenen Ansätze sind:

- Sequentielle Kopplung des Stickstofftransportmodells für die ungesättigte Zone mit einem Grundwassertransportmodell
- Realisierung des Stoffeintrags aus der ungesättigten Zone als „particle tracking“ in das Grundwasserströmungsmodell
- Berechnung der Nitratverteilung aus einem Stoffbilanzmodell

## Introduction

The prediction of the distribution of nutrients (mainly nitrate) from agricultural activities (diffuse sources) in shallow aquifers is an unresolved problem (Fank et al., 2006). To predict the distribution of solutes from point sources (e.g. landfills) or from linear sources (e.g. roads) transport modelling based on groundwater flow models and the concept of hydrodynamic dispersion is widely used. In shallow aquifers the main basis for transport modelling is a two dimensional groundwater flow model using flow parameters as a mean value over the aquifers

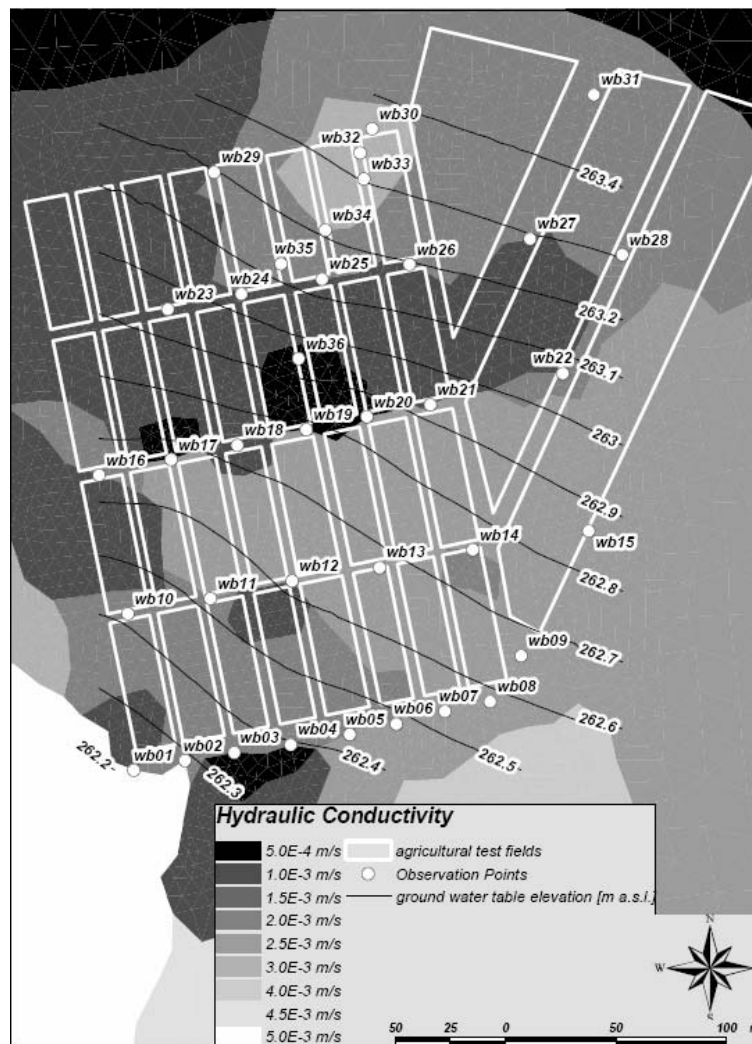
depth, because the relation between the aquifers extent and the aquifers thickness is very large. Transport modelling in this case assumes a full mixing of the solute in the aquifer. This seems to be applicable if the source is far away from the prediction area.

As we predict the impact of land use changes and different tillage systems in agricultural environments on solute concentration distribution in shallow aquifers there are two main problems visible: the location of the source equals the area of prediction, entry of solute mass acts on different locations all over the prediction area in a high variability in time.

The main goal of this paper is to compare different methods to model the distribution of nitrate in shallow aquifers taking into account the differentiation of local input from the unsaturated zone. Statements on the applicability on regional scaled model areas will be given.

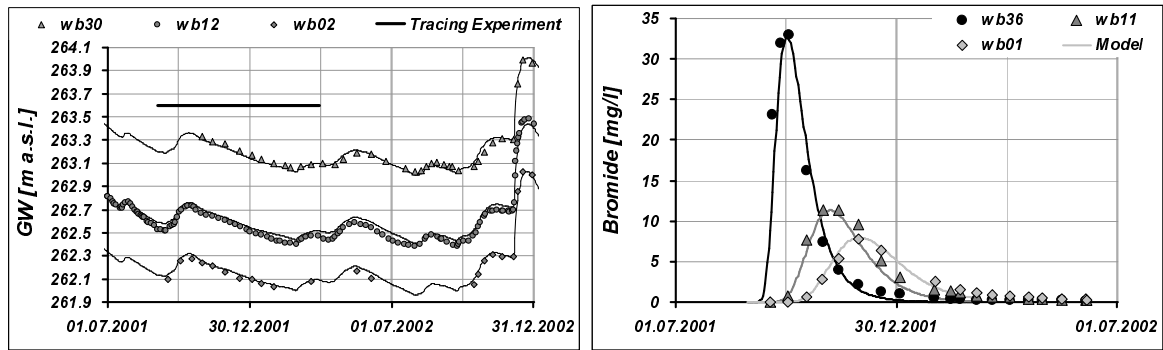
## Material and Methods

In 2001 at the research test field “Wagna” with a scale of 400 \* 300 m, situated in the Murtal River Aquifer system in the southern part of Austria 36 groundwater sampling sites have been installed (Fig. 1) in the saturated zone with a thickness of about 3 to 4.5 m (Berg, 2003). From the cores of the bore holes the boundary between tertiary and quaternary sediments as aquiclude has been estimated.



**Fig. 1.** Groundwater test field “Wagna”: distribution of hydraulic conductivity and observation wells for groundwater quality monitoring.

In September 2001 a tracing experiment has been carried out. The tracer breakthrough at the different measuring points together with long term measurements at a lysimeter nearby has been used to estimate hydraulic parameters and hydrodynamic dispersion parameters for conservative tracers (Fank & Rock, 2005). The estimated spatially distributed hydraulic conductivity was used as initial value for the calibration of a transient groundwater flow model for the test field. The boundary conditions have been taken as time series of potential head from a regional groundwater flow model (Fank, 2004). The calibrated distribution of hydraulic conductivity is shown in **Fig. 1**. **Fig. 2** demonstrates the quality of calibration comparing measured and calculated hydraulic head and bromide concentration at different observation points (see location in **Fig. 1**).

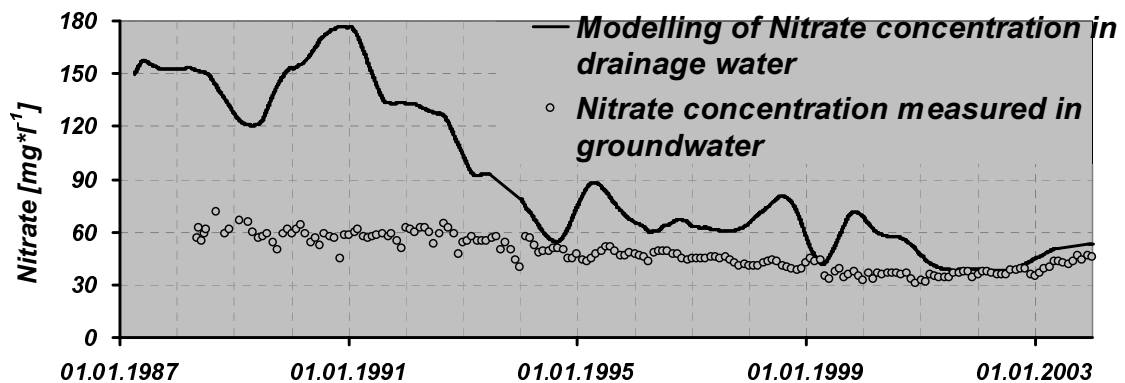


**Fig. 2.**

Left: Calibration of groundwater flow model – comparison of measured (points) and calculated (line) hydraulic head at observation points

Right: Measured bromide concentration breakthrough curves compared to the results of numerical modeling at observation points

Based on the measurement of groundwater recharge and nitrogen leaching at the Wagna lysimeter in the period 1993 to 2003 a soil water and nitrate transport model has been calibrated (Fank et al., 2004). Soil differentiation has been done by intersecting the results of specific investigations on soil physics with geophysical investigations on the thickness of the fine sediment soil. The intersection of land use (at the 36 test fields), soil formations and soil depth led to 341 homogeneous areas. As weather data and land use information are well known since 1987 the amount of drainage water and nitrogen leaching to groundwater has been calculated using a numerical soil water and nitrate transport model on a daily basis for the period 1987 to 2003 (Kupfersberger, 2006). A comparison between calculated nitrate concentration in drainage water (as mean values of the 341 homogeneous areas) to the measured nitrate concentration in the groundwater of the research area (**Fig. 3**) shows that transport process in the groundwater itself is of high relevance for the interpretation of nitrate distribution in shallow aquifers.



**Fig. 3.** Nitrate concentration in drainage water from the agricultural test area Wagna (result of numerical modeling – mean values of 341 homogeneous areas) compared to nitrate concentration measured in the groundwater in the centre of the research area.

## **Prediction of nitrate distribution in the groundwater using coupled models**

Three different attempts have been used to predict nitrate distribution in the groundwater of the research area Wagna taking into account transport in the groundwater itself and the impact of nitrate leaching from the unsaturated zone.

### ***Sequential coupling of unsaturated and saturated zone model***

Based on the calibrated groundwater flow model a non reactive transport model for the saturated zone has been set up, using dispersion values of a few centimetres as transport parameters. The distributed results (in space and time) of unsaturated zone modelling have been used as an upper boundary condition for water flow and solute concentration. Main problems occurred in the definition of the nitrate concentration of the groundwater at the inflow boundary. Final results showed an overestimation of concentration in groundwater after periods of groundwater recharge.

### ***Particle tracking of nitrate concentration in the groundwater flow model***

In this case flow results of unsaturated zone modelling have been used as the upper boundary condition of the groundwater flow model. Nitrate concentration in drainage water has been transferred to particles. These particles have been used as time and space distributed input to the groundwater flow model. Using particle tracking method the flow path has been followed through the entire groundwater in the model area. Up to now this method is not workable on regional scale due to an extreme demand on computer capacity (CPU, memory, hard disk, run time).

### ***Water and solute balancing***

Using a simple mixing equation a balance between groundwater flow and nitrate concentration and unsaturated flow and concentration is being set up (Fank et al., 2006). Nitrate concentration in the groundwater inflow boundary is calibrated using groundwater concentration measurement at the research field. Afterwards groundwater flow balance for every test field is calculated using the groundwater flow model. Unsaturated zone modelling results have been homogenized for the test fields and nitrate distribution is calculated as mean values for a year and a field. This method seems to be useful to predict non reactive solute concentration for long term investigations and large areas, where mixing of groundwater and seepage water is supposable.

## **References**

- BERG W (2003) Monitoring, Analysis and Interpretation of Nitrogenous components and their layered transport into the groundwater of a shallow quarternary aquifer (Leibnitzer Feld, WAGNA). PHD- Thesis, Inst f Geographie und Raumforschung, Karl Franzens Universität Graz, p 157
- FANK, J., E. STENITZER, F. FEICHTINGER, P. CEPUDER (2004): Messdaten und Modellkalibration an der Forschungsstation Wagna und daraus abzuleitende Anforderungen an Messstellen zur Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen. In: KLOTZ, D. (Hrsg.): Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern. GSF-Bericht 02/04, 79-86, München.
- FANK, J. (2005): Baggerseen im westlichen Leibnitzer Feld. In: Wasserland Steiermark – Die Wasserzeitschrift der Steiermark, 4/2005, 23 – 27, Graz.
- FANK, J., G. FASTL, H. KUPFERSBERGER, G. ROCK (2006): Die Bewirtschaftung des Versuchsfeldes Wagna – Auswirkungen auf die Grundwassersituation. Bericht über das Seminar „Umweltprogramme für die Landwirtschaft und deren Auswirkung auf die Grundwasserqualität“, 7. – 8. März 2006, 43-48, Irnding-Gumpenstein
- FANK, J. & G. ROCK (2005): Tracer Experiments on Field Scale for Parameter Estimation to calibrate Numerical Transport Models. In: NÜTZMANN, G., P. VIOTTI & P. AAGAARD (Editors): Reactive Transport in Soil and Groundwater - Processes and Models, 239-250, (SPRINGER) Berlin – Heidelberg – New York.
- KUPFERSBERGER, H. (2006): Modellierung des Stickstoffaustrags aus der ungesättigten Zone am Versuchsfeld Wagna. Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.



# **Integrierte Betrachtung ungesättigte/gesättigte Zone in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten – Kopplung DAISY/MIKE SHE**

O. Larsen

DHI Wasser & Umwelt GmbH  
Wiesenstraße 10a  
28857 Syke – Deutschland

Für die in der WRRL verlangte Abbildung des ganzheitlichen Zustands – biologische, hydromorphologische, physikalische und chemische Beschaffenheit – der Gewässerökosysteme ist die Anwendung *integrierter*, hydrologischer und hydrochemischer Simulationsprogramme ein notwendiges Werkzeug.

In der Literatur wird der Begriff „integriert“ für die Kopplung eines oder mehrerer hydrologischer oder hydrochemischer Prozesse verwendet. Von einem „integrierten Modell“ werden alle hydrologischen Prozesse, wie Niederschlag, Oberflächenabfluss, Wasserführung, Strömungen und Transport in der gesättigten und ungesättigten Zone, simultan verknüpft und simuliert.

Am Beispiel intensiv landwirtschaftlich genutzter Regionen werden der Ansatz, die Modellierungswerkzeuge und Ergebnisse aus einer integrierten Betrachtung der Stoffausbreitung diffuser Einträge (hier Stickstoff) vorgestellt.

Die verwendeten Modelle stammen aus dem DHI – Softwarepool:

DAISY → ermöglicht die numerische Modellierung der Wasserbewegung sowie des Nährstofftransports im Boden und in Pflanzen - einschließlich Pflanzenwachstum. Das Daisy-Modell wird sowohl zur Berechnung des Nettoniederschlags als auch zur Untersuchung landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmethoden und deren Auswirkungen (z.B. auf Nährstoffgehalt und –auswaschung) eingesetzt.

MIKE SHE → ist ein physikalisch basiertes hydrologisches Modell, das den gesamten terrestrischen hydrologischen Kreislauf umfasst und so eine exakte Modellierung der dynamischen Interaktionen zwischen Evaporation, Oberflächenwasser, ungesättigter Zone und gesättigtem Grundwasserleiter ermöglicht. Es ist modular aufgebaut, wobei jedes Modul einen Prozess im hydrologischen Kreislauf abbildet.

# Identification of Denitrification by Measurement of $N_2$ , Ar and $N_2O$ as Aid for the Modelling of the Nitrate Transport

W. Walther<sup>1)</sup>, C. Konrad<sup>2)</sup>, R. Well<sup>3)</sup>, T. Reimann<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Rolandstrasse 41, 31137 Hildesheim, formerly TU Dresden

<sup>2)</sup> TU Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft, 01062 Dresden

<sup>3)</sup> Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Universität Göttingen, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen

## Zusammenfassung

Modelle, die den Umsatz und Transport von Nitrat im Grundwasser nachbilden, können als Entscheidungshilfe für den Einsatz emissionsarmer Bewirtschaftungsformen landwirtschaftlich genutzter Böden herangezogen werden. Eine Voraussetzung sind Kenntnisse über die Verteilung der Denitrifikation im unterirdischen Raum. Zur Abgrenzung der Zonen mit Denitrifikation werden häufig Daten der Wasserbeschaffenheit herangezogen. Sie liefern zwar Indizien aber keinen sicheren Nachweis. Die Ermittlung des  $N_2/Ar$  – Verhältnisses für den Filterbereich einer Messstelle ist ein sicherer Weg. Auf dieser Grundlage können die Zellen eines Modellnetzes dann mit Information über die Art der Reaktion und mit Kennwerten belegt werden. Für drei Aquifere Norddeutschlands wird das Verhalten von  $N_2/Ar$  und  $N_2O$  gezeigt. An einem Gebiet wird dann der Einsatz von zwei Methoden zur Identifikation der Denitrifikation vorgestellt.

## Introduction

Many catchment areas of groundwater resources are agriculturally used in Europe. If below agriculturally used soils low concentrations of nitrate are measured in groundwater and in the raw water of a waterworks then a process of nitrate elimination as denitrification is the main reason for this favourable situation. For water supply frequently the following questions are important:

- When will raised nitrate concentrations be expected in the wells of the waterworks?
- How will measures which decrease the emission of nitrate from the soil zone influence the water quality at different points in the groundwater body?

Models, that depict the water and nitrogen cycle of the unsaturated and saturated zone are valuable tools for planning soil and water management. The following conditions should be considered when applying such models:

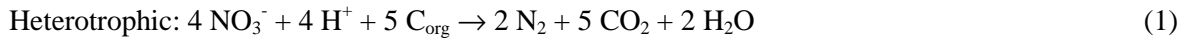
- Realistic simulation of the water balance and groundwater flow,
- Sufficient knowledge about the kinetics of nitrogen metabolism (equation, characteristic values of reaction) and about their distribution in the subterranean space,

The knowledge about the metabolism often does not exist at all or is only inadequately available. In such cases, the kind of kinetics and their characteristics need to be based on assumptions.

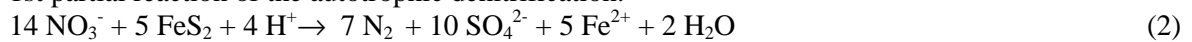
In this contribution, we will present the application of the indirect method for the identification of denitrification. In addition, the article will explain the use and the meaning of determining the gases  $N_2$ , Ar and  $N_2O$  in groundwater. The investigations were carried out in three North German aquifers, which belong to the pleistocene formation, and which are hydrogeologically different. The groundwater catchment areas are used for the drinking water extraction.

## Elimination of nitrate in the groundwater

Several types of processes may participate in the decrease of nitrate in groundwater. In the North German unconsolidated sediments, the denitrification is the most effective process according to own investigations, Walther (1999), Paetsch (2006). Both the heterotrophic denitrification, equation (1), and the autotrophic denitrification, equation (2), were observed. The latter process is encountered most frequently.



1st partial reaction of the autotrophic denitrification:

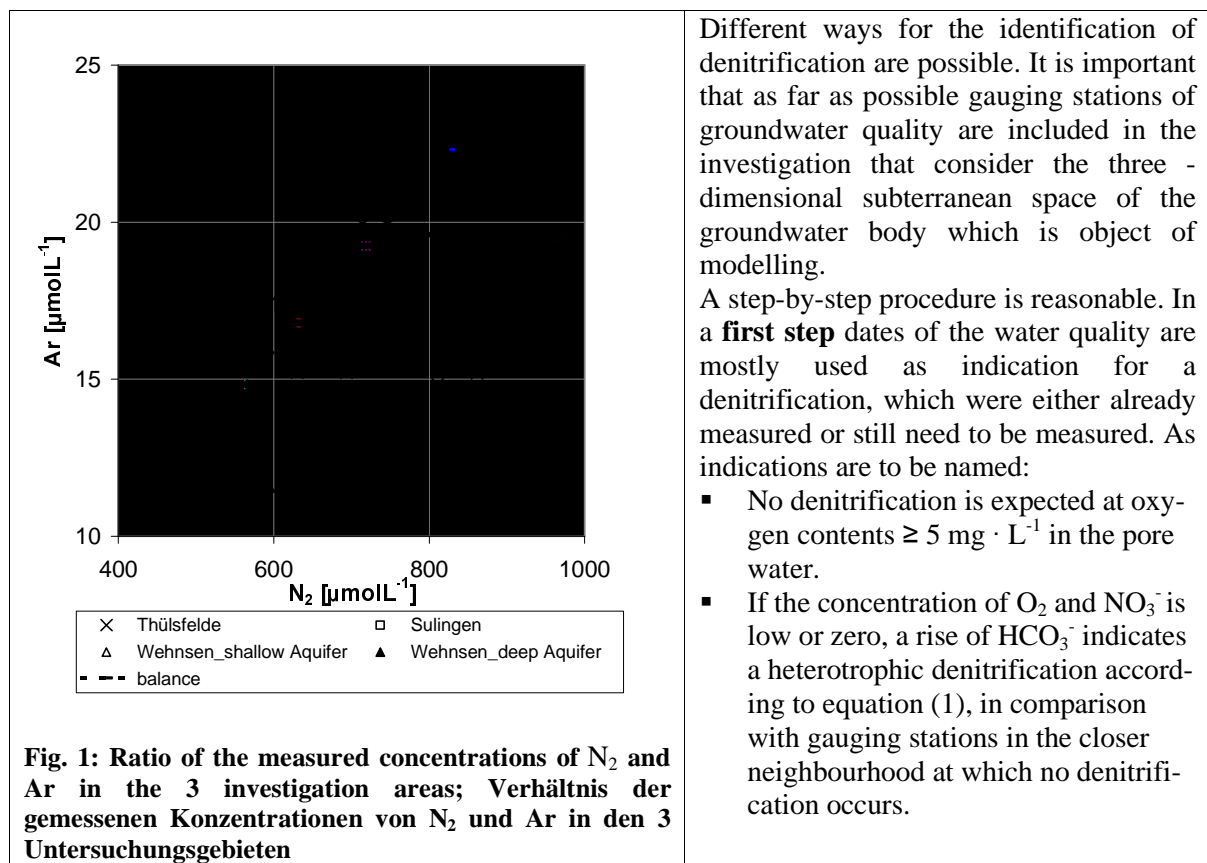


The denitrification occurs in steps from  $\text{NO}_3^-$  over  $\text{NO}_2^-$  and  $\text{N}_2\text{O}$  up to the molecular nitrogen  $\text{N}_2$  if the reaction can progress completely, e. g. Well et al. (2005). Organically bound carbon or sulphidic compounds act as reducing agents. The agents are distributed as fine particles in the hydraulically active parts of the aquifers as sand layers or at the edges of layers as clay which are only slight permeable.

## Direct and indirect method to identify the denitrification

For the modelling of the transport it is necessary to mark off the zones of the aquifer in which a denitrification occurs. On the basis of this knowledge then the characteristic values of the reactions, e. g. of equation (3) shall be assigned to the cells of the three - dimensional model net.

$$c(t) = c_0 \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (3)$$



**Fig. 1: Ratio of the measured concentrations of  $\text{N}_2$  and  $\text{Ar}$  in the 3 investigation areas; Verhältnis der gemessenen Konzentrationen von  $\text{N}_2$  und  $\text{Ar}$  in den 3 Untersuchungsgebieten**

- A rise of the concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$ , partly  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$  can be an indicator for autotrophic denitrification, according to equation (2).

These dates of water quality do not supply, however, any secure proof since the concentrations can be influenced by several other processes in the aquifer.

In a **second step**, measurements of the gases  $N_2$ , Ar and  $N_2O$  should be carried out at the gauging station, at which a denitrification is expected. In the atmosphere, the ratio of  $N_2/Ar$  is fixed at 83. In rainwater and in groundwater the ratio of the gases  $N_2$  and Ar lies between 37.1 and 38.6, fig. 1.

If the denitrification runs in the groundwater,  $NO_3^-$  is converted in parts or fully to  $N_2$ . Due to this fact, the increase of  $N_2$  causes an increase of the ratio of  $N_2/Ar$ . The concentration of Ar remains unchanged in this case, Blicher - Matthiessen et al. (1998). The difference between the ratio of  $N_2/Ar$  calculated from measured values and the ratio that is determined by the temperature-dependent balance with the atmosphere is called "excess nitrogen". The determination of the ratio  $N_2/Ar$  and of the "excess nitrogen" is a relatively secure proof of whether denitrification occurs on the flow path between the groundwater table and the screen of the gauging station, Konrad (2007).

If, for example,  $NO_2^-$  and the gas  $N_2O$  are measured, this is an indication of an incompletely running denitrification in the local neighbourhood of the gauging station.  $N_2O$  may then also occur when the concentration of oxygen is  $> 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  in the pore water.

### Application of the methods in the three investigation areas

In the areas Wehnsen, Sulingen and Thuelsfeld the hydraulically active zones consist of sand formations. The hydraulic conductivity lies between  $10^{-6}$  and  $10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . The areas Sulingen and Wehnsen are vertically subdivided into storeys through silty and clay. The share of the agriculturally used area varies between 56 % in the area Thuelsfelde and 90 % in Sulingen. The residual part to 100 % is used mainly by forests.

In these three areas, oxygen lies between  $< 0.1$  and  $10.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . That means, an oxidic zone is to be encountered in the upper part of the aquifer followed from a non-oxidic zone. The reactive material is very heterogeneously distributed in the hydraulically active sands. According to that distribution, the nitrate concentration changes on a narrow distance between low and high values. The span is between  $< 0,1$  and  $298 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Denitrification was observed in the areas Sulingen and Thuelsfelde up to depths of about 40 m and in Wehnsen up to a depth of 80 m below ground.

**Table 1.** Investigation area Thülsfelde, preassessment on denitrification, concentration of  $N_2O$ , ratio  $N_2/Ar$ ; Gebiet Thülsfelde, Messstellen Grundwasser, Vorprüfung auf Denitrifikation, Messwerte  $N_2O$ ,  $N_2/Ar$

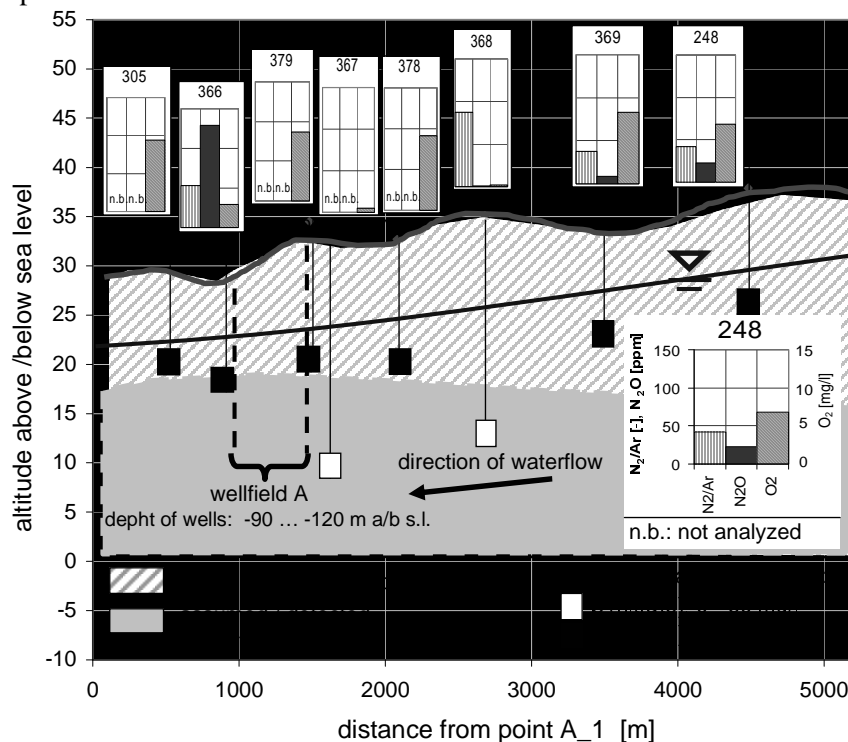
station	FUK <sup>1)</sup> [m_NN]	Denitr. accord. water quality <sup>2)</sup>	$N_2/Ar$ <sup>3)</sup> [-]	Denitr. on flow path accord. $N_2/Ar$	$N_2O$ [ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ]	Denitr. near the screen
1	2	3	4	5	6	7
248	24.95	no	41.84	no	48.21	exist
336	8.24	auto-& heterotr.	67.82	exist	0.63	low
353	7.47	heterotrophic	33.47	no	0.66	low
368	11.31	possible	87.24	exist	0.79	low
369	22.13	no	37.20	no	21.01	exist
372	10.64	possible	37.92	no	4.22	low

1) FUK = Filterunterkante in m NN = trailing edge of the screen in meter altitude above sea level (aasl), the ground level lies between 21 m and 42 m aasl; 2) presumed reaction in accordance with dates of the groundwater quality; 3) ratio  $N_2/Ar$  at  $10^\circ \text{C}$  in balance = 37,6; 4) average of concentration; n. m. = not measured

The procedure defining the zones with denitrification will be demonstrated at the catchment area of the well field A of the waterworks Thuelsfelde in an exemplary pattern. 16 gauging stations were selected in such a manner that the area and the edges of the area were grasped.

- On the basis of the dates of water quality as a 1st step a "preassessment" was carried out, whether a denitrification is possible on the flow path onto the screen of the gauging station. Parts of results of this "preassessment" are presented here in an excerpt form in tab. 1: According to that, a denitrification is not expected for 3 of the 16 gauging stations, see in the table column 2 "denitrification according to water quality", station no. 248 and no. 369 as examples.
- After this "preassessment" the gases  $N_2$ , Ar and  $N_2O$  were measured. The table contains the ratio  $N_2/Ar$  in column 4. The ratio in the balance is equal to 37.6 ( $10^0C$ ). The "preassessment" written in column 2 could not be confirmed due to the raised  $N_2/Ar$  ratio for 3 stations, see stations 353 and 372 as examples. Column 5 states the new assessment.
- In 12 of 16 stations  $N_2O$  was measured, column 6. In 6 of 12 stations higher concentrations were observed. That means that an incomplete denitrification runs in the local neighbourhood of the screen of the measurement station. As an example, see stations no. 248 and 369. Column 7 contains the results of the appraisal.
- In station no.248 an oxygen content of  $6.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  was measured and in station no. 369 a content of  $8.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  in the pore water. Column 5 shows that no denitrification was assumed. In spite of that higher  $N_2O$  contents were observed. Therefore, it must be presumed that in the local neighbourhood of the screen an incomplete denitrification occurs, in spite of raised oxygen content.

Fig. 2 shows an abridged cross section through the catchment area in the direction north - south, laying at the west edge. In the cross section the level of depth of the screens of 8 stations is indicated. The screens marked in black indicate nitrate contents  $> 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  while the white marked screens show contents between 0 and  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . With the help of the dates of the water quality and by the measurements of the gases, the zones with and without denitrification were separated



**Fig. 2.** Investigation area waterworks Thülsfelde, abstraction field A, cross section A1-A1', identification of zones with denitrification/ Gebiet Thülsfelde, Fassung A, Schnitt A1 – A1', Abgrenzung denitrifizierender Zonen

from each other. The zone without or with just insignificant denitrification lies about 10 to 20 m below ground. There, either too high oxygen contents can be observed or the reactive material is consumed by former denitrification.

- Above each station, a bar graph is drawn for  $N_2O$ ,  $O_2$  for the ratio  $N_2/Ar$ . Only for the stations no. 366, 369 and 248 the ratio  $N_2/Ar$  and the concentration of  $N_2O$  could be determined.
- For the stations 305, 379, 378, 369, 248 an oxygen content  $> 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  was observed, so that no denitrification can be expected. At contents of  $O_2 > 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  the ratio  $N_2/Ar$  is near the balance ratio and the value of the "excess nitrogen" is close to zero.
- On the one hand, the bar graph for the stations 366, 369 and 248 show due to the raised ratio of  $N_2/Ar$  and the perceptible concentration of  $N_2O$ , that in the flow path to the screen of the station the denitrification runs obviously more or less incompletely. On the other hand, nitrate values may still be  $> 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . This indicates that the local decomposition process is not able to completely convert the nitrate flux coming from the soil into the gaseous form.

## Conclusion

Models that depict the metabolism and transport of nitrate in a groundwater- catchment of a water-works are still seldom build up by the enterprises of water supply until today. Investigations about the  $N_2/Ar$  – ratio and about the occurrence of  $N_2O$  in the deeper groundwater were carried out up to now mainly from scientifically oriented institutions. The measurement of these parameters should become an indispensable aid during the development of transport models in future. Further information on the nitrate metabolism as kinetic characteristics can derive with the aid of the  $N_2/Ar$  – ratio and excess - nitrogen.

## References

- BLICHER-MATHIESEN, G., G. W. MCCARTY, L. P. NIELSEN (1998): Denitrification and degassing in groundwater from dissolved dinitrogen and argon, *Journal of hydrology*, Vol. 208, 16-24
- KONRAD, C. (2007): Identifikation des Umsatzes von Stickstoff in drei pleistozänen Aquiferen Norddeutschlands auf der Grundlage von Studien im Labor und im Gelände. Dissertation Technische Universität Dresden.
- PÄTSCH, M. (2006): Analyse des Depots des Nitratsatzes und dessen Heterogenität im quartären Grundwasserleiter der Wasserwerkes Thülsfeld / Emsaland, Berücksichtigung bei der Modellierung des Transportes, Dissertation, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden.
- WELL, R., H. HÖPER, O. MEHRANFAR & K. MEYER (2005): Denitrification in the saturated zone of hydromorphic soils – laboratory measurement, regulating factors and stochastic modelling, *Soil biology & biochemistry* 37, Elsevier, 1822-1836.
- WALTHER, W. (1999): Diffuser Stoffeintrag in Böden und Gewässer. Teubner Verlag, Stuttgart / Leipzig

# Integrated Agricultural and Hydrological Modeling Within An Intensive Livestock Region Taking Supra-Regional Manure Transports Into Account

Peter Kreins<sup>1</sup>, Horst Gömann<sup>1</sup>, Ralf Kunkel<sup>2</sup> and Frank Wendland<sup>2</sup>

- 1 Federal Agricultural Research Center,  
Institute of Rural Studies,  
Bundesallee 50,  
38116 Braunschweig, Germany
- 2 Research Center Jülich, Jülich, Germany

## Summary

An interdisciplinary model network consisting of the regional agricultural economic model RAUMIS and the hydro(geo)logical models GROWA/WEKU is used to analyze the effect of different scenarios of maximum agricultural nitrogen balance surplus on water quality. The study area is the federal state of Lower Saxony, Germany, which features heterogeneous natural site conditions as well as agricultural production structures. The study takes supra-regional manure transports into account that, according to the model's results, considerably increase due to a lowering of maximum nitrogen balance surpluses. The assessment of the nitrogen reduction measures reveals that adequate indicators have to be applied. In this regard the model results show that even though the analyzed measure leads to a substantial overall reduction of agricultural nitrogen surpluses, nitrogen discharges into surface and ground water can regionally increase.

## Introduction and Problem

In recent decades, purchased feed has allowed regions such as the southwest Netherlands and northwest Germany, Belgium, Denmark, Brittany (France) and Catalonia (Spain) to become sites of concentrated animal production. However, the utilization of farmyard manure brings about higher unavoidable nutrient surpluses since nutrients are less accessible by plants lower than nutrients from mineral fertilizer. Hence, regions with intensive livestock farming typically display the highest nutrient surpluses. Intensive land use and the application of farm manure close to water bodies pollute river catchments in northwest Germany. The Ems and the Vechte are considered critically polluted (LOWER SAXONY STATE OFFICE FOR ECOLOGY, 2001: 31ff.). From the perspective of water protection, the manure application limits determined in the German "Düngeverordnung" of 210 and 170 kg total nitrogen per hectare for grassland and arable land respectively are considered too high. To reach the environmental policy goal of reducing nitrogen charges by 50%, a reduction in nitrogen surpluses to 50 kg N/ha is necessary (GERMAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2001: 50).

In this study the effects on water quality as well as the economic impacts of lowering the permissible nitrogen balances are analyzed taking into account supra-regional transports of farmyard manure within the study area of Lower Saxony. The analysis takes place using an interdisciplinary model network made up of the agricultural economic Regional Agricultural and Environmental Information System RAUMIS (HEINRICHSMEYER et al., 1996) and the hydro-geological model GROWA98 (KUNKEL et al., 2002) and WEKU (WENDLAND et al., 1999).

## **Integrated agricultural economic and hydrological modeling**

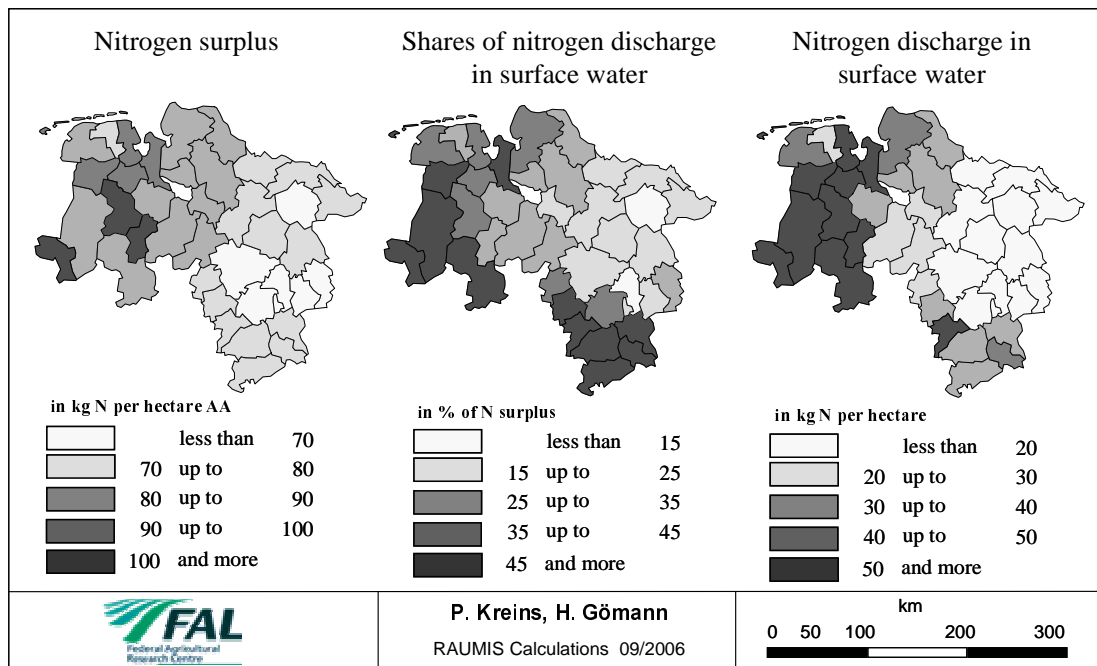
RAUMIS is designed for continuous usage in the scope of medium and long-term agricultural and environmental policy impact analyses. It comprises more than 50 agricultural products, 40 inputs with exogenously determined prices, and reflects the whole German agricultural sector with its sector linkages. The model consolidates various agricultural data sources and generates base model data with the national agricultural accounts as a framework of consistency. Due to data availability, the spatial differentiation is currently based on administrative bodies on NUTS III level (“Landkreise”). Some 326 regions are treated as single “region farms” that typically reach their production decisions autonomously. Hence, adjustments of production at the national level are based on aggregated responses of region farms. Regarding diffuse water pollution, the indicator “nitrogen surplus” is of particular importance. The concept of balancing nitrogen follows PARCOM-guidelines (PARCOM, 1993) where the soil surface represents the system border. The nitrogen surplus represents a risk potential since it indicates the amount of nitrogen potentially leaching into ground and surface water.

In this study a restriction on the maximum permissible nitrogen balance surplus was introduced that forces agriculture represented by region farms to adjust. The assumption that region farms reach their production decisions independently from each other cannot be maintained in this scenario because supra-regional manure transport might result in interaction between regions. This interaction is implemented into RAUMIS by adding a manure transport module to the input output matrix of each region farm. The manure transport module allows region farms to dispose of excess manure while other region farms fulfill nutritional requirements via manure imports.

The nitrogen balance surplus provided from RAUMIS is the input data for calculating diffuse nitrogen inputs into rivers that is assumed to take place via two runoff pathways: direct runoff and ground water runoff. This nitrogen surplus is related to the ground water recharge/total runoff ratio. Thus, a calculation of the ground water borne nitrate inputs into surface waters requires knowledge of the ground water flow paths, the total residence time of the nitrate and the denitrification kinetics in the upper aquifer. These processes are considered by different models. The GROWA model is used to carry out area differentiated water balance analyses. The mean long term total runoff is modeled as a function of the regional interaction of climate, soil, geology, topography and land use conditions. The model separates the total runoff into the direct runoff (interflow and surface runoff) and ground water runoff (ground water recharge). The ratio between ground water recharge and total runoff was taken as a measure for the extent to which diffuse nitrogen surpluses are displaced from soil to groundwater. The WEKU model has been extended by a module quantifying nitrate degradation in ground water.

For wide area coverage, the coupled models provide a regionally differentiated, consistent link between the Driving Force Indicator “Nitrogen Balance Surplus,” the State Indicator “Nitrogen (Nitrate) Concentration” and Response Indicators (GÖMANN et al., 2003). Lower Saxony features a very diverse spatial structure and specialization of agricultural production. On the one hand, one of the most intensive livestock areas in Europe is in the “Weser-Ems region,” in the western regions of Lower Saxony. This region’s significantly above-average share of specialized pigs and poultry farms as well as an above-average share of specialized grazing livestock farms result in excess manure supply that needs to be exported. On the other hand, the eastern are predominated by field crop farms and below-average livestock densities, meaning they have high potential for importing farmyard manure. Fig. 1 gives an overview about projected regional nitrogen surpluses in Lower Saxony that mainly reflect the distribution of intensive animal production across the state in 2010. The differences in the displayed shares of nitrogen surpluses that are discharges in surface water are due to heterogeneous natural site conditions for Lower Saxony. This heterogeneity is necessary to consider adequately the different environmental impacts of an increase in supra-regional manure transports as a consequence of agri-environmental policies.





**Fig. 1.** Regional nitrogen surpluses, shares of nitrogen discharges in surface water and nitrogen discharges in surface water in Lower Saxony in 2010. Regionale Stickstoffbilanzüberschüsse, Anteile von Stickstoffeinträge in Oberflächengewässer und Stickstoffeinträge in Oberflächengewässer im Jahr 2010.

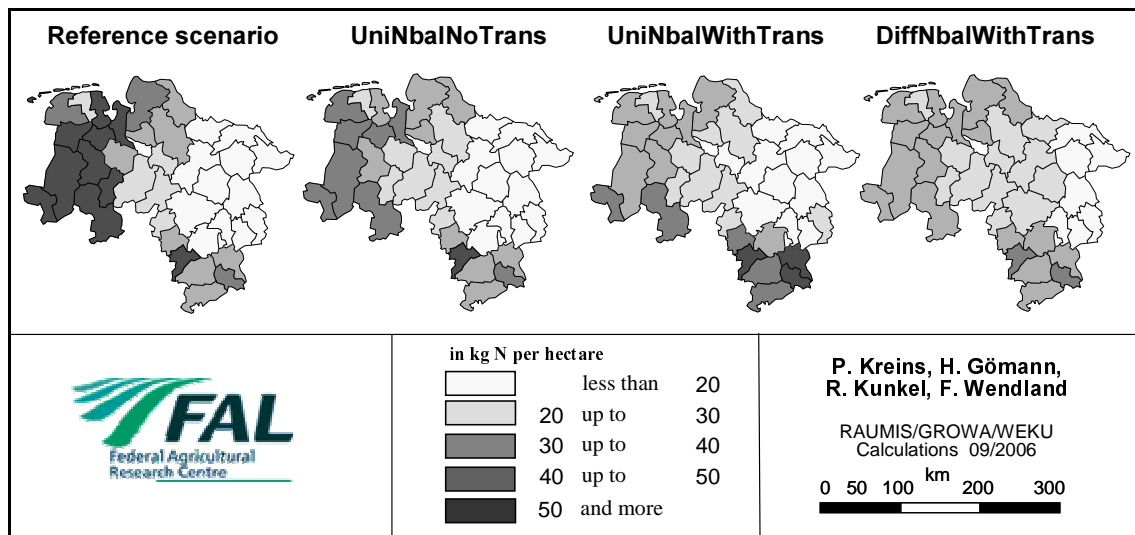
## Impacts of the implementation of maximum nitrogen surpluses

In order to demonstrate the impacts of restricting the permissible nutrient surpluses in the context of supra-regional manure transports, three different variants, all of which aim to reduce the total nitrogen discharges throughout Lower Saxony by the same magnitude (about 17%), are analyzed and compared to the reference scenario for the target year 2010. A) A uniform (area wide) maximum N-surplus level of 100 kg N per ha AA; supra-regional manure transports are not accounted for (Acronym: UniNbalNoTrans); B) A uniform (area wide) maximum N-surplus level of 80 kg N per ha AA, supra-regional manure transports are taken into account (Acronym: UniNbalWithTrans); C) Area differentiated N-balance surplus are derived on the basis of the shares of N-surpluses that are discharged into surface water, supra-regional manure transports are taken into account (Acronym: DiffNbalWithTrans). The measure is defined on the farm level were some balance positions such as atmospheric depositions are not considered. Slight deviations may occur because the scenario simulations with RAUMIS apply the complete N-balancing.

Without allowing for supra-regional manure transports (UniNbalNoTrans), N-discharges into ground water are reduced in problem regions without changing the situation in other regions (see Fig. 2). However, some regions, particularly those with high N-discharge fractions, still show elevated N-discharges. The reduction is almost exclusively due to a cut back of livestock to 1.1 livestock units per ha AA. Abatement costs in terms of agricultural income losses amount to 13.5 Euros per kg reduced N-discharge into surface water. Average cost figures do not display the regional distribution of income losses; in western intensive livestock regions income losses reach 28%.

Because of an substantial increase of supra-regional farmyard manure transports in the scenario UniNbalWithTrans and DiffNbalWithTrans to about 10 and 14 million cubic

meters at costs of 109 and 141 million Euros, respectively, ground and surface water problems are alleviated in exporting regions at the expense of impairments in importing regions. Total abatement costs, including both, transport costs and agricultural income losses, average 9.6 and 9.0 Euros per kg reduced kg N-discharge, respectively. Manure transports increase N-discharges in manure importing regions which poses problems in regions where high shares of N-surplus leach into surface water such as in the southern regions of lower Saxony. The implementation of area differentiated N-surplus restrictions clearly removes hot-spot areas of diffuse N-pollution and results in a more even spatial distribution of N-discharges (see Fig. 2).



**Fig. 2.** Regional N-discharges into surface water in the reference scenario and variants of nitrogen surplus limitations in Lower Saxony. Regionale Stickstoffeinträge in Oberflächengewässer im Referenzszenario und Variationen einer Begrenzung von Stickstoffbilanzüberschüssen in Niedersachsen.

The results indicate that a) impact assessments of agricultural diffuse nutrient reduction measures should not be based on nutrient surpluses alone but take into account nutrient discharges into ground and surface water as well, b) supra-regional manure transports must be considered in evaluations of nutrient reduction measures, and c) diffuse nutrient reduction measures must be target specific.

## References

- LOWER SAXONY STATE OFFICE FOR ECOLOGY (2001). Water Quality Report 2000. Surface water bodies 13/2001. 1. Edition (2), Hildesheim.
- GERMAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2001). Environmental Policy. Water Management in Germany. Part 2 – The water quality of inland surface waters. Berlin.
- GÖMANN, H., KREINS, P., KUNKEL, R., & F. WENDLAND. (2003). The coupling of agricultural economic and hydrological models. *Agrarwirtschaft*, 53(4), 195–203.
- HENRICHSMEYER, W., CYPRIS, C., LÖHE, W., MEUDT, M., SANDER, R., VON SOTHEN, F., ISERMAYER, F., SCHEFSKI, A., SCHLEEF, K.-H., NEANDER, E., FASTERDING, F., HELMCKE, B., NEUMANN, M., NIEBERG, H., MANEGOLD, D., & T. MEIER (1996). Entwicklung eines gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021), vervielfältigtes Manuskript, Bonn/Braunschweig.
- KUNKEL, R., & F. WENDLAND (2002). The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins – the river Elbe case study. *Journal of Hydrology*, 259, 152–162.
- WENDLAND, F., & R. KUNKEL (1999). The nitrate decomposition ability in ground water in the Elbe area. *Schriften des Forschungszentrum Jülich, Environmental Series*, 13, Jülich.

**Block II Ökonomisch sinnvolle, nachhaltige und grundwasserverträgliche  
ackerbauliche Bewirtschaftungsformen/  
Economical, Sustainable and Groundwater Protective Agricultural  
Management Systems**

**Session 3 Perspektiven von Landwirtschaft und Grundwasserschutz/  
Perspectives of Agriculture and Groundwater Protection**

**Bernsteiner, Albert (LFI Steiermark), J. Maßwohl:**

Landwirtschaftliche Entwicklungschancen in Tallandschaften mit intensiver  
Grundwassernutzung (Murtal von Graz bis Bad Radkersburg)

**Köstenbauer, Heinz (Bio Ernte Austria):**

Der organisch-biologische Ackerbau und dessen versuchstechnische Umsetzung im  
Vergleich zur konventionellen ackerbaulichen Bewirtschaftung am Versuchsfeld  
Wagna

**Isermann, Klaus (Bureau of Sustainable Agriculture (BSA) Hanhofen), R. Isermann:**

Sustainable Nutrient Management and its Impact on the Protection of Groundwater  
and Surface Water in the Danube River Basin and Black Sea

**Übleis, Thomas (Upper Austrian Water Protection Consulting), M. Höfferer:**

Ground Water Protection – Compatibility of Ecological and Economical Aims

**Spiess, Ernst (Agroscope FAL Reckenholz), V. Prasuhn:**

Ausmaß und Ursachen der sinkenden Nitratgehalte im Grundwasser des Kantons  
Bern

**Lanthaler, Christine (K.-F. University Graz):**

Modelling of Sustainable and Groundwater Protective Cropping System Using Long-  
term Scenario Simulations

**Gobiet, Andreas (Wegener Center for Climate and Global Change), H. Truhetz:**

Scenarios of Climate Change for Southern and Eastern Styria and Potential Impacts  
on Agriculture and Water Availability

# **Prognosis of Future Nitrate Input into the Upper Rhine Aquifer/ Prognose des zukünftigen Nitratreintrages in den Oberrhein- Aquifer: Modellkonzepte und Szenariensimulation**

Markus Casper<sup>1</sup>, Hendrik Lambrecht<sup>2</sup>, Jost Grimm-Strele<sup>2</sup>, Thomas Gudera<sup>2</sup>, Stephanie Korte<sup>2</sup>,  
Nina Graveline<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universität Trier, Physische Geographie, D-54286 Trier/Germany, E-mail: casper@uni-trier.de

<sup>2</sup>Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe/Germany

<sup>3</sup>BRGM, Montpellier/France

## **Summary**

The large groundwater aquifer in the Upper Rhine Valley shows a high nitrate load due to various reasons. To decrease the input of nitrate a series of regulations are currently in force and first steps are taken in the German as well as in the French part of the Upper Rhine Valley towards their implementation. Furthermore changing directives within the agricultural sector will affect future management practices and consequently the nitrate input into the aquifer. Within the multi-national EU-INTERREG-III-project "MoNit - Modelling of the groundwater contamination by nitrate in the Upper Rhine Valley" a simulation tool was developed that allows the assessment of future nitrate load in an integrative way i.e. by taking into account conditions at the plot scale as well as socio-economical aspects and macro-scale transport processes. This tool allows evaluations of the efficiency of political decisions and helps to prioritise the steps to reduce the nitrate input. To achieve these aims five different models were coupled. Due to data availability and limitations in the modelling concept, several sources of error could be distinguished.

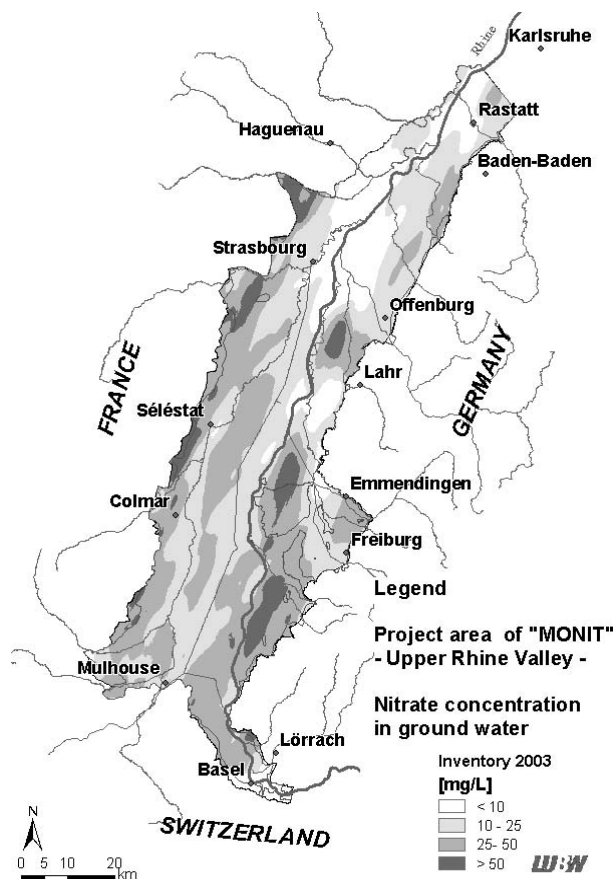
This project has been co-financed by the European Regional Development Fund (ERDF)

## **Introduction**

In many places, the groundwater of the Upper Rhine Valley aquifer shows high nitrate concentrations. This is mainly due intensive agriculture in this region. Locally, the threshold of 50mg/l, set by the Drinking Water Regulation, is clearly exceeded. Especially the Vosges and Black Forest foothill regions are sources of nitrate, causing nitrate plumes in the groundwater which are easily measurable (fig. 1, dark areas). The project "MoNit" brought together partners from Alsace/France, the two Swiss cantons of Basel as well as from the German federal state of Baden-Württemberg. The project area is the Upper Rhine Valley south of Karlsruhe between Basel, Mulhouse and Rastatt (fig. 1).

The project aims to provide a tool for assessing the effectiveness of different options for action to reduce the groundwater contamination in the Upper Rhine Valley aquifer. It focuses explicitly on diffuse leaching from agriculture. The quantification of the impact of the EU's Common Agricultural Policy (CAP) and of local measures on the nitrate contamination of the Upper Rhine Valley aquifer groundwater was the main objective of this project (LUBW 2006).

A trans-national database has been set up. Precisely determining agricultural practice (amounts of fertilizer used, methods of cultivation, livestock, crop rotations, etc.) in the participating countries is central to the quality of the nitrate leaching simulation. A great part of the collected data is available for the first time in an international context. Thus, the project contributes substantially to trans-national data homogenization, as called for by the EU Water Framework Directive (WFD).



**Fig. 1.** Project area and nitrate concentrations in ground water (RÉGION ALSACE, 2005)

## Modelling concept

To simulate different scenarios a number of submodels at different spatial and temporal scales were used. These models were loosely coupled at project coordination level (fig. 2).

In detail, these models are:

1. Model to interpolate climatic data and to calculate the groundwater recharge (GWN\_BW).
2. Socio-economic models to assess changes in land use practice as a result of changing conditions (such as a reform of the CAP, Ordinance on Fertilization, world market prices) (SEM).
3. Large scale nitrate balance model (STOFFBILANZ, GEBEL 2003).
4. Process-oriented nitrate input model at plot scale (soil-plant-model STICS, BRISSON ET AL. 1998) to determine the nitrate input into the groundwater as function of crop type, management practice, fertilizing practice and climate.
5. Groundwater flow model coupled with a transport model to simulate on a large scale and in a three-dimensional way the groundwater flow and transport, including first order decay of nitrate in the groundwater (MODFLOW, STREAM and MT3D, HARBAUGH ET AL. 2000).

In a first step, the nitrate concentrations of the groundwater for the years 1980, 1990 and 2000 were reconstructed. Here, the GWN\_BW and STOFFBILANZ models were used to produce the input data sets for MODFLOW/MT3D. By the use of measured data the groundwater flow and transport model could be calibrated and verified. Figure 2 gives a simplified outline of the coupling of partial models and data flow within the project.

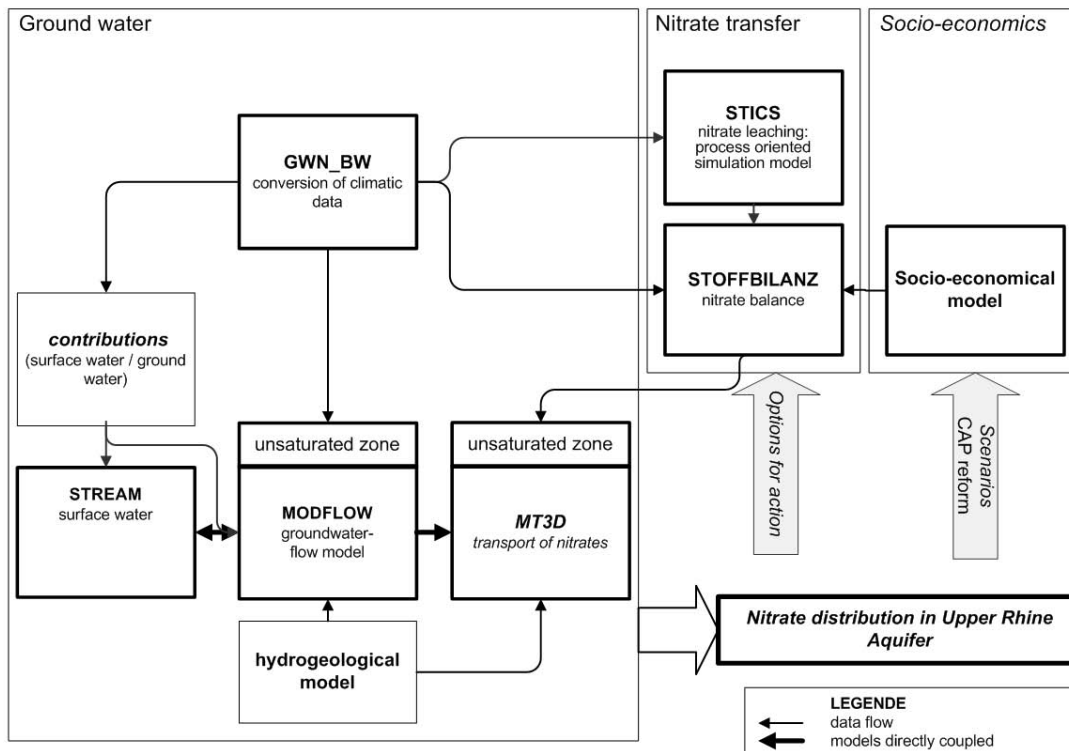


Fig. 2. Integrated modelling concept and simplified data flow in MoNit

## Scenario simulations

In MoNit 3 different scenarios (J. ALCAMO 2001) for 2050 were distinguished (LUBW 2006). The most plausible scenario for the Upper Rhine Valley is the so called “tendency scenario”. Based on assumptions of the IPCC emissions scenarios A1 and B2 (IPCC 2000), two alternative scenarios were developed: A1 accounts for a higher degree of liberalization of markets, B2 takes into consideration fast growing of energy costs which causes a strong extension of the bio energy sector. Using the coupled models the resulting nitrate distributions in the Upper Rhine Aquifer were calculated until the year 2050. Fig. 3 shows the evolution of mean nitrate concentration in ground water in comparison to a reference run (“no changes in input since 2000”). The tendency scenario and the scenario A1 (“globalization”) show a similar decrease in nitrate concentration. Scenario B2 (“high energy costs”) shows a slight increase in nitrate concentration compared to the base run. This can be explained by a much higher percentage of energy crops needing higher fertilizer gifts. Detailed results can be found in LUWG (2006).

## Sources of error and model limitations

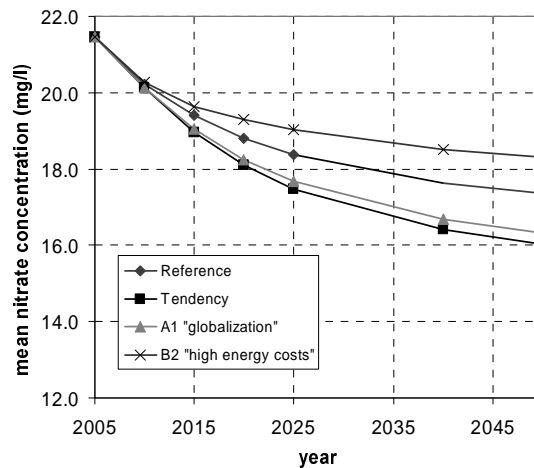
Several sources of error can be distinguished: (a) different model scales (b) different process representations and (c) missing or sparse data. This leads to some model limitations that have to be taken into account when the simulation results are interpreted. Some sources of error are listed below.

### (a) Model scale

1. SEM works on 13 agricultural regions, disaggregation to municipal level is necessary.
2. Different temporal scales: (a) daily timestep (plant growth model) (b) monthly time step (Groundwater model) (c) annual mean (nitrogen balance model)

### (b) Process representation

3. Process oriented plant models are only available for the mayor crops (like corn or winter wheat), plant models for energy crops like colza could not be adapted to climatic condition of the Upper Rhine Valley. Additional field experiments are necessary to calibrate and validate new plant models.
  4. Effect of nitrate decay in the unsaturated zone could not be considered in detail (modelling concept and appropriate data are not available)
- (c) Data availability
5. Real amount of fertilizer applied by the farmers is unknown
  6. Land use data is not available below municipal scale
  7. Nitrogen balances are different from country to country (e.g. winter wheat, vineyards)



**Fig. 3.** Development of mean nitrate concentration between 2005 and 2050

## References

- ALCAMO, J. (2001) Scenarios as tools for international environmental assessments. Environmental Issue report No. 24, European Environment Agency, Copenhagen.
- BRISSON, N., MARY, B., RIPOCHE, D., JEUFRROY, M.-H., RUGET, F., GATE, P., DEVIENNE, F., ANTONIOLETTI, R., DURR, C., NICOLLAUD, B., BEAUDOIN, N., RECOUS, S., TAYOT, X., PLENET, D., RICHARD, G., CELLIER, P., MACHET, J.-M., MEYNARD, J.-M. AND DELÉCOLLE, R. (1998) STICS : a generic crop simulation model with water and nitrogen balance. Application to wheat and maize. I. Theory and parameterization. *Agronomie*, 22, 1, pp. 69-92.
- GEBEL, M. (2003) Die Berücksichtigung von N-Umsatzprozessen auf Ackerflächen bei der Quantifizierung von Stickstoffeinträgen in Flussgebieten mit dem Modell STOFFBILANZ. In: *Geoöko* 24 (3-4), 249-259
- EEA (1999) Environmental indicators: typology and overview. Technical report No 25. European Environment Agency, Copenhagen.
- HARBAUGH, A.W., BANTA, E.R., HILL, M.C., AND McDONALD, M.G. (2000): MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model - User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92
- IPCC (2000) Special report on emission scenarios (SRES) <http://www.grida.no/climate/ipcc/> (29.5.2006)
- LUBW (Ed.) (2006) Prognosen zur Entwicklung der Nitratbelastung - INTERREG III A-Projekt MoNit "Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben" (final report, part A), Karlsruhe
- REGION ALSACE (Hrsg.) (2000) Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin Supérieur – Bestandsaufnahme der Grundwasserqualität im Oberrheingraben, Strasbourg
- RÉGION ALSACE (Hrsg.) (2005) Bestandsaufnahme 2003 der Grundwasserqualität im Oberrheingraben – erste grenzüberschreitende Ergebnisse, 24 S., conference proceedings of project presentation on 7 March 2005, Strasbourg

# **Landwirtschaftliche Entwicklungschancen in Tallandschaften mit intensiver Grundwassernutzung (Murtal von Graz bis Radkersburg)**

A. Bernsteiner/J. Maßwohl

LFI Steiermark  
Landwirtschaftliche Umweltberatung  
Hamerlinggasse 3  
A-8010 Graz – Austria

## **Summary**

Along the Mur river from Graz to Radkersburg there is an important ground water resource area. In Austria agriculture is the most important type of land use. Water is an essential input for the agricultural production. But agricultural impact to ground water is strongly correlated to intensifying of land use and food production. Therefore a set of legislative measures was implemented to control emission from agriculture. Command and control measures characterise the Austrian approach, however environmental subsidies for voluntary measures have been gaining significant since 1995. According to the reform of Common Agricultural Policy 2003 market signals will become more important for the production. As a considerable share of farms in Austria is located in relative less favourable production regions the likely effect of the reform will be a more extensive agriculture. Therefore a large number of measures can be carried out by farmers to reduce emission, particularly to reduce the nitrate impact into ground water. But most of these measures need to be adjusted to very specific farm conditions.

## **Einleitung**

Der nationale Strategieplan Österreichs für die Entwicklung des ländlichen Raums zielt auf eine multifunktionale, nachhaltige und wettbewerbsfähige Land- und Forstwirtschaft ab. Die strategischen Leitlinien der Gemeinschaft für die Entwicklung des ländlichen Raumes wurden – wie es die VO (EG) Nr. 1698/2005 vorsieht – am 20. Februar 2006 vom Agrarrat formell beschlossen (BMLFUW, 2006).

Die Maßnahmen in der neuen Periode fördern spezifische Naturschutzmaßnahmen bzw. die extensive und umweltschonende Bewirtschaftungsweise, insbesondere jene Maßnahmen, die Boden, Wasser und Klima besonders schonen.

Österreich hat schon bisher dem Wasserschutz große Bedeutung beigemessen. Neben den indirekt positiven Wirkungen, die Agrarumweltmaßnahmen beim Wasser bewirken, wurden in Gebieten mit einem starken landwirtschaftlichen Intensivierungsdruck spezifische Maßnahmen zum vorbeugenden Wasserschutz gesetzt.

## **Rechtlicher Rahmen**

Der leitende Grundsatz für die wasserwirtschaftlichen Belange ist die Nachhaltigkeit (BMLFUW, 2005), d.h. eine Bewirtschaftung der Gewässer unter Berücksichtigung der sozialen, ökonomischen und ökologischen Bedürfnisse der heutigen und zukünftigen Generationen. Mit der



WRG – Novelle 2003 wurde der rechtliche Rahmen für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) geschaffen (BMLFUW, 2005). Für die Qualität von Grundwasser wurden mit der Grundwasserschwellenwertverordnung bereits 1991 Qualitätsziele festgelegt. Insbesondere wurden Schwellenwerte für Nitrat (45 mg/l) und Pestizide (0,1 µg/l) festgelegt.

In Österreich ist das flächendeckend geltende Aktionsprogramm Nitrat das zentrale Element zur Umsetzung der Nitratrichtlinie, um Belastungen in Grund- und Oberflächengewässern zu verringern. Im Aktionsprogramm Nitrat sind Düngevorschriften, Ausbringungsverbote etc. für die Landwirtschaft geregelt. Zusätzlich kommen weitere legislative Maßnahmen zum Tragen, um die gewässerrelevanten Emissionen der Landwirtschaft zu verringern und so die vorgeschriebenen Qualitätsziele einzuhalten.

## **Ökonomischer Ansatz**

Traditionell herrschen in der Umweltpolitik direkte Regulierungen in Form von Gesetzen und Verboten vor. Die Defizite in der Zielerreichung als auch die mit manchen administrativen Lösungen verbundenen hohen Kosten haben dazu geführt, dass das Interesse an ökonomischen Instrumenten zur Erreichung umweltpolitischer Zielvorgaben zugenommen hat (HOFREITHER, 1995).

Das Entscheidungsproblem in Bezug auf die Realisierung einer – aus ökonomischer und/oder politischer Sicht – optimalen Lösung von Nutzungskonflikten der Ressource Trinkwasser ist in der Regel sehr komplex. Als Maß für die Knappheit der Ressource Wasser wird der Marktpreis herangezogen. Die Knappheit von Wasser wird so durch die zwei Dimensionen Qualität und Quantität determiniert (HOFREITHER, 1995).

Die qualitative und quantitative Knappheitsform ist nicht immer strikt zu trennen (HOFREITHER, SINABELL, 1996). Unzureichende Qualität von Wasser kann z.B. zu quantitativen Knappheiten führen, wenn unbelastetes Wasser zugemischt werden muss, um vorgeschriebene Grenzwerte zur Trinkwassernutzung einhalten zu können (KLETZAN et al., 2004). Die qualitative Knappheit, tritt in Österreich in einer Situation auf, in der Wasser zwar bezogen auf die Menge ausreichend vorhanden ist, jedoch von seiner Beschaffenheit zur Nutzung nicht geeignet ist (HOFREITHER, SINABELL, 1996, KLETZAN et al., 2004).

Die Hauptprobleme sind regional konzentrierte Belastungen mit Nitrat und Rückstände von Pflanzenschutzmitteln. Die Gemeinden mit hoher Konzentration liegen überwiegend in den für die landwirtschaftliche Produktion begünstigten Regionen, in denen überdies aufgrund der Siedlungsdichte ein hoher Bedarf für sauberes Trinkwasser besteht.

## **Österreichs Landwirtschaft bis 2015**

Wie kaum ein anderer Sektor wird die Landwirtschaft von Entwicklungen der Agrarpolitik beeinflusst. Produktionsentscheidungen hängen daher neben Änderungen von Technologie und Marktbedingungen insbesondere von den politischen Rahmenbedingungen ab. Über wichtige Kenngrößen der Agrarstruktur in Österreich liegen kontinuierliche Zeitreihen vor. Die zugrunde liegende Hypothese ist, dass die Zahl der Betriebe und die Zahl der beschäftigten Personen im Agrarsektor, einem abnehmenden Trend folgen.

Zur Ermittlung der potentiellen Belastung von Gewässern durch die Landwirtschaft bis zum Jahr 2015 wurden Szenarienrechnungen mit dem partiellen Agrarsektormodell PASMA (Positive Agricultural Sector Model Austria) durchgeführt (SINABELL, SCHMID, 2004).

In diesen Berechnungen kommen SINABELL, SCHMID zum Ergebnis, dass die wichtigste Ursache für den erwarteten Belastungsrückgang bis zum Jahr 2015 die Agrarreform 2003 ist, da die Anreize zur Produktion deutlich gesenkt werden. Dies manifestiert sich in Österreich am deutlichsten durch den starken Rückgang der Rindfleischproduktion. Ein weiterer Faktor ist, dass die Milchleistung relativ stark zunimmt und auch dadurch der Viehbestand insgesamt zurückgeht.

Zusätzlich ist zu erwarten, dass extensive Produktionsformen (z.B. biologische Wirtschaftsweise) zumindest gleich viel Fläche binden bzw. sogar leicht ausgedehnt werden.

Diese Einschätzung ist relativ robust, da Änderungen der Input- und Outputpreise in moderatem Umfang ( $\pm 5\%$ ) das Ergebnis einer „mittleren“ Preisentwicklung stützen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse regionale bzw. sektorale Durchschnittswerte abbilden. Mögliche Produktionsverlagerungen in Richtung Gunstlagen, welche zusätzliche, negative Umwelteffekte auf lokaler Ebene hervorrufen können, sind in dieser Analyse nicht berücksichtigt.

## **Landwirtschaft und Grundwasserschutz im Projektgebiet**

Die quartäre Talflur der Mur von Graz bis Radkersburg gliedert sich in die drei Grundwasserkörper Grazer Feld, Leibnitzer Feld und Unteres Murtal. Die Gesamtfläche dieser drei Grundwasserkörper beträgt 321 km<sup>2</sup>. Die erreichten Mächtigkeiten von 2 und 20 m überlagern das Grundwasser durch eine mehrere Meter mächtige ungesättigte Zone aus Kiesen und Sanden, der eine gering mächtige Bodenbedeckung aus lehmig sandigen Braunerden aufliegt.

Bei mittleren Jahresniederschlagsmengen zwischen 800 und 950 mm erreicht die Grundwasserneubildung Werte zwischen 250 und 450 mm pro Jahr. Ackerbaulich handelt es sich hier um ausgesprochene Gunstlagen (FANK, 2004). Die Produktionsausrichtungen reichen vom Gemüsebau über die Schweineproduktion bis hin zum Energiepflanzenanbau. Modellberechnungen für typische Bodenstandorte des Murtales und der Seitenzubringer zeigen (FANK, 1999), dass im Ackerbau des Murtales vor allem bei den seichtgründigen lehmig sandigen Braunerdeböden auch die Güllemenge und der Zeitpunkt der Düngeraufbringung wesentlich für die Nitrataustragsgefährdung dieser Standorte sind. Mit der Novellierung der Schongebietsverordnung 1996 für das Leibnitzer Feld (vgl. LGBl. Nr. 47/2006 u. 49/2006 und wurde die Ausrichtung der Stickstoffdüngung an die Bodenart verstärkt angesprochen.

## **Perspektiven für die Landwirtschaft von Graz bis Radkerburg**

Die Schweinehaltung als der vorherrschende Betriebszweig im Murtal der südlichen Steiermark wird auch in der Zukunft hohe Flächenanteile für sich beanspruchen. In zunehmendem Maße wird als Voraussetzung dafür ein effizientes Gülle-Management bzw. eine intensive Güllebewirtschaftung gesehen werden (LFI STEIERMARK, 2006).

Neben der Nahrungsmittelversorgung wird die Produktion von Energiepflanzen eine immer größere Bedeutung für viele Betriebe erlangen. Die Landwirtschaft steht am Beginn der Wende vom Landwirt zum Energiewirt (KOPETZ, 2004). Die Erzeugung von Biogas aus der Vergärung von Wirtschaftsdüngern, Energiepflanzen und organischen Co-Substraten verzeichnet in den letzten Jahren einen starken Zuwachs in der österreichischen Landwirtschaft (PÖTSCH, 2004). Das Untere Murtal hat dabei eine führende Rolle in der steirischen Landwirtschaft eingenommen.

Weitere landwirtschaftliche Entwicklungschancen auf dem Energiesektor ergeben sich in der Erzeugung von Treibstoffen, wie RME, Pflanzenölen, CNG und Äthanol und der Produktion von Energieträgern für die thermische Verwertung wie Graspellets oder Energiekorn.

Die Strategie der nachhaltigen „Bewirtschaftung von besonders auswaschungsgefährdeten Ackerflächen“ des Betriebes (BMLFUW, 2006) bedarf zu ihrer Umsetzung einer grundlegenden Neuausrichtung für das Projektgebiet, damit aufgrund der derzeit formulierten Auflagen diese Agrarumweltmaßnahme auch tatsächlich umsetzbar ist.

Entwicklungschancen kommen darüber hinaus insbesondere dem Biolandbau zu. Ebenso wird die Umsetzung des Vertragswasserschutzes in den Schon- und Schutzgebieten verstärkt zu thematisieren sein. Weiters erfordert das wachsende Umweltbewusstsein und der zunehmende Kostendruck im Gemüsebau – relevant für das Grazer Feld – eine effiziente Kulturführung (DIETRICH, R. et al., 2005). Extensivierungsmaßnahmen bewirken hierbei einen positiven Trend

zur Verminderung des Nitrataustrages, bringen aber auch Ertragsminderungen bzw. führen zu einer Reduzierung des vermarktungsfähigen Anteils.

## Literatur

- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft): Ländliche Entwicklung 2007 – 2013, Nationaler Strategieplan Österreichs für die Entwicklung des ländlichen Raums 2007 – 2013, Wien, Version: 5 endg, Stand: 17.09.2006, S. 16, 23-24
- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft), EU Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG, Österreichischer Bericht über die IST – Bestandsaufnahme, Wien, März 2005, S. 20-21,23
- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft), Der grüne Pakt für Österreichs Landwirtschaft, Ländliche Entwicklung 2007 – 2013, Entwurf – Maßnahmenbeschreibungen, Wien 2006, S. 101-103
- DIETRICH, R. et al.: Bewertung von Extensivierungsmaßnahmen auf Nitrataustrag und Bodenwasserhaushalt bei Salat (Feldgemüse) im Eferdinger Becken, in: ALVA - Jahrestagung 2005, Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen [Hrsg.], Wien, S. 101-106
- FANK, J.: Zur Nitratproblematik im Murtal südlich von Graz, in: 8. Gumpensteiner Lysimetertagung, Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft, am 13. und 14. April 1999, S. 5-9
- FANK, J.: Die Bedeutung der Ergebnisse der Untersuchungen an der Forschungsstation Wagna für die ackerbauliche Praxis im Grundwassergebiet des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg, in: Seminar Landwirtschaft und Grundwasserschutz, Die Bedeutung der Lysimeterforschung für die landwirtschaftliche Praxis, am 2. und 3. März 2004, S. 63-72
- HOFREITHER, M. F.: Ökonomische Anreize für eine gewässerverträgliche Landwirtschaft, Diskussionspapier Nr. 48-W-95, Institut für Wirtschaft, Politik und Recht, Universität für Bodenkultur, Wien, Oktober 1995, S. 6, 8
- HOFREITHER, M. F., SINABELL, F.: Konsequenzen und Chancen einer nachhaltigen Wassernutzung durch die Landwirtschaft, Diskussionspapier Nr. 53-W-96, Institut für Wirtschaft, Politik und Recht, Universität für Bodenkultur, Wien, Februar 1996, S. 4-8
- KLETZAN, D. et al.: Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie für den Sektor Landwirtschaft – Ökonomische Analyse der Wassernutzung, Entwicklung von methodischen Ansätzen, Studie des Österreichischen Institut für Wirtschaftsforschung, Wien, April 2004, S. 11-14, 75 -83
- KOPETZ, H.: Vom Landwirt zum Energiewirt, in: Wintertagung 2004 für Grünland- und Viehwirtschaft, Aigen/Ennstal, Programm und Kurzfassungen der Vorträge, am 12. und 13. Februar 2004, S. 16-17
- LÄNDLICHES FORTBILDUNGSINSTITUT STEIERMARK (LFI): Landwirtschaftliche Umweltberatung Steiermark, Zwischenbericht 2006, Graz, S. 23-27
- PÖTSCH, E. M.: Biogasproduktion - Energiegewinnung und Veredelung von Wirtschaftsdüngern, in: Wintertagung 2004 für Grünland und Viehwirtschaft, Aigen/Ennstal, Programm und Kurzfassungen der Vorträge, am 12. und 13. Februar 2004, S. 17-19
- SINABELL, F., SCHMID, E.: Die Entwicklung von Österreichs Landwirtschaft bis 2015, in: Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie für den Sektor Landwirtschaft – Ökonomische Analyse der Wassernutzung, Entwicklung von methodischen Ansätzen, Studie des Österreichischen Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO), Wien, April 2004, S. 75-84

# **Der organisch-biologische Ackerbau und dessen versuchstechnische Umsetzung im Vergleich zur konventionellen ackerbaulichen Bewirtschaftung am Versuchsfeld Wagna**

Heinz Köstenbauer

BIO ERNTE STEIERMARK  
Krottendorferstr. 82  
A-8052 Graz – Austria

## **Summary**

Completing cycles and sparing resources are principles of organic farming. That involves the protection of the ground-water. The soil is the central element and is seen with all its various functions. The humus content and soil structure enable nitrate and other ions to be rapidly bound (to organic material). Chemically synthetic substances are generally not used in organic farming and can therefore not reach the ground water. In terms of nutrient supply, organic farming is based on legumes as they are capable of binding nitrogen for the following crop. The release of nitrate can only be partly controlled by the type and intensity of cultivation. In the crop rotation a nitrogen-source must always follow a nitrogen-consumer. In the cultivation it is necessary to work on the soil only as little and shallowly as possible, yet always guarantee a good seedbed in order to get high yields. With an economical and groundwater-protective crop rotation, economy is in harmony with ecology. The organic crop rotation consists of lucerne, corn, spelt and oil pumpkin as opposed to the conventional version with two years of corn, barley and oil pumpkin. The danger of nitrate leaching is best prevented with growing corn after lucerne. Both spelt and corn straw remain at the field in order to enrich it with organic substance.

No substantial differences show between the lysimeter cylinders and the direct plant environment. The experiment plan has been maintained since the cultivation year 2005. Results in the ground water are not yet out and are expected in a few years.

## **Grundsätze des Biologischen Landbaus**

Die Idee des Biolandbaus, Ressourcen zu schonen und Kreisläufe zu schließen zeigt, dass Grundwasserschutz auch ein Anliegen der Biobauern ist. Der Boden und vor allem das Bodenleben spielen dabei eine zentrale Rolle. Der Boden dient nicht nur zur Verankerung der Pflanzen, sondern ist mit all seinen Bestandteilen zentraler Transformator für die Pflanzenernährung. Nicht die Pflanze, sondern den Boden bzw. das Bodenleben düngen und mit Nährstoffen versorgen lautet hier der Ansatz. Nährstoffe und vor allem Stickstoff können mit den zugelassenen Betriebsmitteln nicht exakt zum Zeitpunkt der Aufnahme durch die Pflanze zur Verfügung gestellt werden. Ziel ist es daher, dass über Umsetzungsprozesse im Boden der Pflanze dann die Nährstoffe zur Verfügung zu stellen, wenn Bedarf besteht.

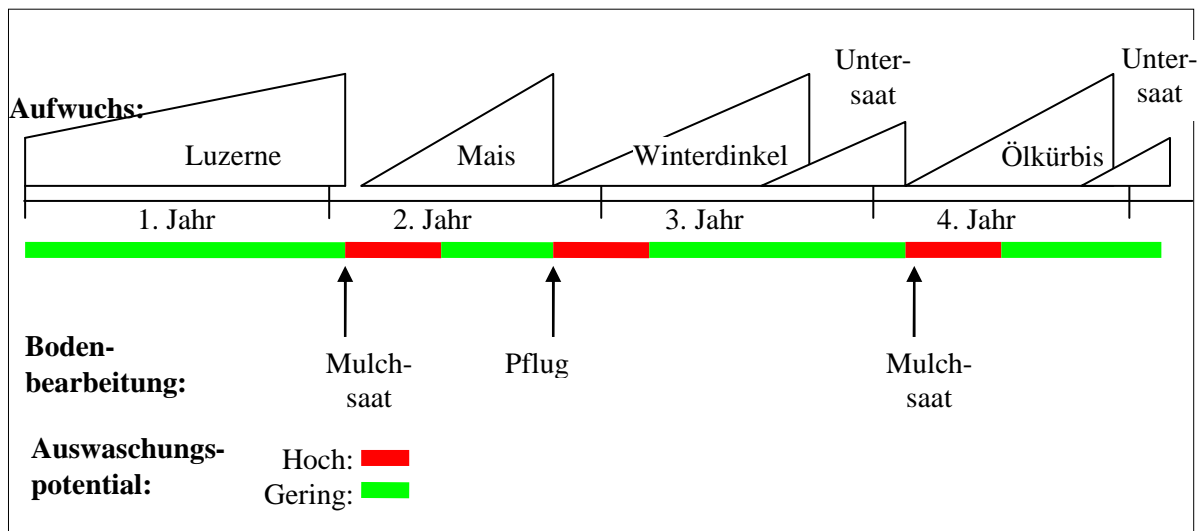


<u>Biologische Fruchtfolge</u>	<u>Konventionelle Fruchtfolge</u>
1. Jahr: Luzerne	1. Jahr: Körnermais
2. Jahr: Körnermais	Zwischenfrucht
3. Jahr: Winterdinkel	2. Jahr: Körnermais
Untersaat von Weißklee	3. Jahr: Wintergerste
4. Jahr: Ölkürbis	Zwischenfrucht
Untersaat von Luzerne	4. Jahr: Ölkürbis
	Untersaat von Raygras

**Tab. 1.** Fruchtfolgen der beiden Varianten

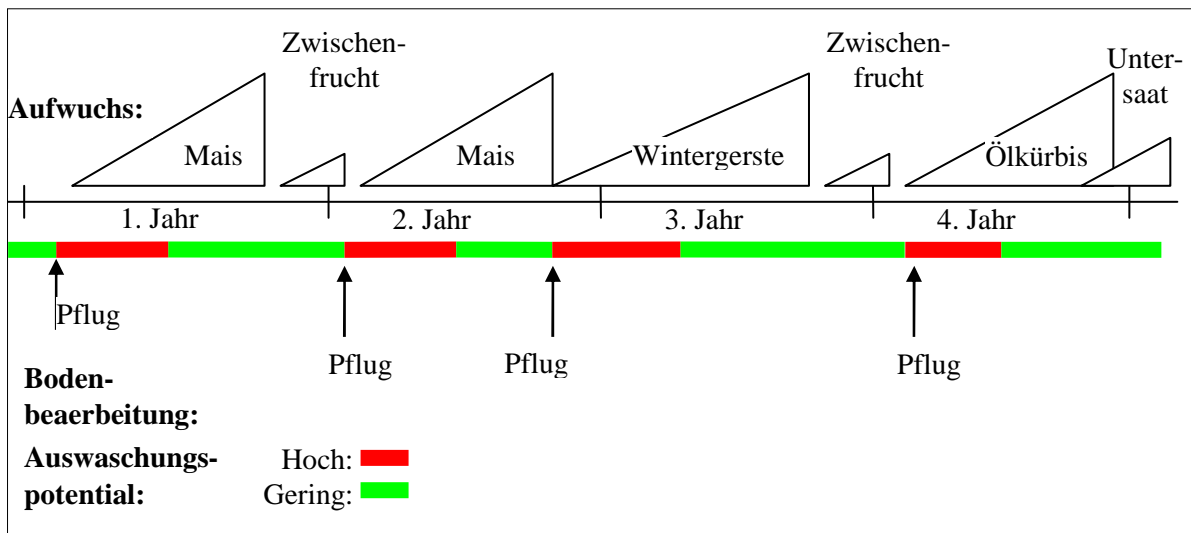
### Faktoren zur Minimierung der Auswaschungsgefahr bei Stickstoff

Der organisch gebundene Leguminosenstickstoff unterliegt erst der Verlagerung nach unten, wenn er zu Nitrat umgewandelt wird. Aktiv gefördert wird dieser Prozess durch intensive und tiefe Bearbeitung wie Pflügen. Zusätzlich spielen ausreichend Feuchtigkeit und hohe Temperaturen eine fördernde Rolle. Als Konsequenz gilt es, den Boden dann zu bearbeiten, wenn möglichst rasch mit einer Aufnahme des frei werdenden Nitrat durch die Pflanzen gerechnet werden kann, dabei aber dennoch eher seicht zu arbeiten, d.h. bis zu 10 cm Tiefe. In der Versuchsanlage erfolgt die Bearbeitung nach Luzerne erst zwei Wochen vor der Aussaat von Mais im April ohne Pflug. Zu dieser Jahreszeit ist im Durchschnitt der Jahre bereits mit einem aufsteigenden Wasserstrom zu rechnen, womit eine Verlagerung über den Wurzelraum hinaus gering ist. Für den Anbau von Ölkürbis gilt sinngemäß dasselbe wie bei Mais.



**Abb.2.** Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Auswaschungspotential in der Biovariante

In der konventionellen Variante wird neben der aktiven Düngung mit Schweinegülle und Mineraldünger auch durch die typische tiefe Pflugfurche auf 25 cm Nitrat aus der organischen Substanz freigesetzt. Aufgrund der anfangs geringen N-Aufnahme von Mais entsteht auch hier ein Auswaschungspotential. Dies ist umso höher, als durch die Gülle- und Düngergabe die Mineralisierung im Boden zusätzlich verstärkt wird. Das N – Düngenniveau orientiert sich am Gewässerschutz und ist als niedrig einzustufen.



**Abb.3.** Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Auswaschungspotential in der konventionellen Variante.

## Arbeitshypothesen

### Bewirtschaftung des Lysimeters läuft mit praxisüblichen Geräten

Die Konzeption der Lysimeter gestattet nach Abbau des obersten Ringes eine Grundbodenbearbeitung auf 25 cm Tiefe mit praxisüblichen Geräten. Beim Wiedereinsetzen des obersten Ringes ist Vorsicht geboten, um keine Strukturschäden zu hinterlassen. Alle weiteren mechanischen Maßnahmen wie seichte Bodenbearbeitung oder Saat erfolgt im Lysimeterring händisch, ansonsten maschinell. Auch alle Düngemaßnahmen können maschinell durchgeführt werden.

### Geringere Erträge und Stickstoffentzüge in der Biovariante

Die Erträge bei Körnermais und Getreide in der Variante Bio liegen um bis zu 50 % unter jenen der konventionellen Variante, bei Ölkürbis gibt es geringere Unterschiede. Die Abfuhr an Stickstoff über das Erntegut übertrifft mit Ausnahme des Ölkürbis in beiden Varianten die gedüngte Stickstoffmenge bzw. der rechnerischen Stickstoffsammelleistung der Leguminosen.

### Kein Einsatz von chemisch synthetischen Betriebsmitteln in der Biovariante

Der Verzicht auf Herbizide in der Biovariante bedingt vermehrten Maschineneinsatz und in den Randbereichen auch Handarbeit. Pestizide können auf der Biovariante systembedingt jedenfalls nicht ins Grundwasser gelangen.

## Literatur

SHELLER EDWIN. (1994): Die Stickstoffversorgung der Pflanzen aus dem Stickstoff-Stoffwechsel des Bodens, D – 97990 Weikersheim (Markgraf Verlag)

# Sustainable Nutrient Management and its Impact on the Protection of Groundwater and Surface Water in the Danube River Basin and Black Sea

K. Isermann/R. Isermann

Bureau of Sustainable Agriculture (BSA), Heinrich-von-Kleist-Strasse 4, D 67374 Hanhofen

## Zusammenfassung

Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus dem EU-FP-5/„daNUbs“ (EVK1-CT-2000-00051) „Nutrient Management in the Danube River Basin and its impact on the Black Sea“ werden dargestellt. Maßnahmen zur ursachenorientierten und hinreichenden Minderung der N- und P-Einträge aus dem DEZ in die Donau und ihre Nebenflüsse und somit in das vornehmlich durch P limitierte westliche Schwarze Meer setzen im gesamten Ernährungsbereich an: Landwirtschaft mit Pflanzen- und Tierproduktion (~ernährung), Humanernährung sowie Abwasser- und Abfallwirtschaft. Insbesondere vor dem Hintergrund der Forderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000) und der EU-Grundwasserrichtlinie (Draft 2003/2006) wird mit entsprechenden Szenarien belegt, dass zur Erreichung eines guten chemischen und ökologischen Zustandes von Donau und Schwarzem Meer mit ihren Grundwassereinzugsgebieten beste verfügbare Techniken allein nicht ausreichen. Globale (Agrar-) Marktstrategien sowie die aktuelle (inter-)nationale Politik verstärken gar noch die Eutrophierungsproblematik. Nur nachhaltige Maßnahmenkonzepte, in erster Linie basierend auf einer gesunden Humanernährung (Suffizienz) nur noch mit entsprechender Nahrungsmittel-Produktion, insbesondere an den emissionsreichen tierischen Nahrungsmitteln (max. 0,1 Großvieheinheiten  $\pm$  50 kg LG je Einwohner), aber zugleich flankiert durch beste verfügbare Techniken, sind in der Lage, ursachenorientiert und hinreichend die o.e. N- und P-Einträge zu vermindern. Dies waren bzw. sind u.a. auch die Minderungsstrategien von EU-COST-832 bzw. EU-COST-869.

## Abstract

Results and conclusions of the EU-FP-5 “daNUbs” [EVK-CT-2000-0051 (2-2001/1-2005)] “Nutrient Management in the Danube River Basin and its impact on the Black Sea” are shown. As scenarios 1-6 in **Table 1** more or less sustainable mitigation options to reduce the N and P inputs into the Danube River Basin and therefore into the P limited Western Black Sea are shown both cause-oriented and sufficiently in an integrated manner referring to the entire nutrition system: Agriculture with plant and animal nutrition (diffuse sources), Human nutrition (households intervenient) as well as waste and waste water management (point sources). The characteristics of these scenarios daNUbs are shown in **Table 2**. N surplus of agriculture are closely related to animal production and consumption (**Table 3**). Especially in respect to the requirements of the EU-Water Framework Directive (2000) and Draft Groundwater Directive (2003/2006) the scenario 3 shows in **Table 4 and 5**, that single best available techniques (BAT) are not sufficient to get good chemical and ecological status of the Danube River Basin and Black Sea with interfering groundwater and terrestrial ecosystems. Global (agricultural /market strategies (Scenario 2) as well as actual national (i.e. German Düngeverordnung 2006) and international (EU) policy (Scenario 5) increases eutrophication, for example with Nitrate Directive (1991) WFD (2000) and Draft Groundwater Directive (2006) and their threshold value of max. 50 instead of 10 mg NO<sub>3</sub>/l are



5fold too high that can be tolerated in respect to corresponding critical loads. Only sustainable bundles of measures based on sufficiency primarily of a healthy human nutrition with corresponding production especially of animal food (max. 0.1 animal unit  $\triangle$  life weight/capita<sup>-1</sup>) flanked simultaneously by BAT are adequate to reduce N and P inputs into the aquatic ecosystems both cause-oriented and sufficiently. This are a.o. also the options of the EU-COST-ACTION 869 “Mitigation options for nutrient reduction in surface water and groundwater (11/2006-11/2011).

**Table 1: Scenarios in the Danube Basin with corresponding C, N, P (and S) balances of the total system nutrition with Agriculture: Plant and Animal nutrition, Human nutrition and Waste as well as Waste Water Management**  
**Period: 2000- (2012) 2015**  
**(G= Germany, A= Austria, CEE= Central and Eastern European EU)**

<b>Scenarios</b> → with corresponding sustainable criterions	<b>Agriculture:</b> <b>Plant and Animal nutrition</b> (also Feed Industry) → Feed production and consumption, Food production	<b>Human nutrition</b> (also Food Industry) → Food processing and consumption	<b>Waste and Waste Water Management</b> (Infrastructure Sewage, TP) → Nutrient removal and recycling
<b>Scenario 1:</b> <b>Business as usual (BAU)</b> = Status quo → <b>Weak efficiency</b> , no further urbanisation	Situations like 1995-2000 (Consolidation) G+A: No change, subsidies	Situations like 1995-2000 (unhealthy nutrition, esp. G+A) G+A: No change CEE: No change	Situations like 1995-2000 G+A+ CEE: only operation and maintenance of existing infrastructure
<b>Scenario 2:</b> <b>Worst Case (WC)</b> = <b>Global Markets (GM)</b> → <b>Strong Efficiency</b> Urbanisation	Export oriented, within EU and globally G+A: like 1995-2000 CEE: like 1989 Specialisation of plant and animal production (esp. CEE)	G+A: like 2000 CEE: like 1989	Sewerage: all settlements > 2000 pe Treatment: Carbon removal as minimum requirement (normal areas) Sludge: Incineration
<b>Scenario 3:</b> <b>Best Available Technique (BAT)</b> → <b>Strong Efficiency and Consistency</b> Urbanisation like Scenario 2	Additionally reduction of nutrient emissions by BAT → “Unavoidable” emissions resting G+A+CEE: better state than in 2000	G+A: like 2000 CEE: like 1989	Sewerage: all settlements > 2000 pe Treatment: nutrient removal as minimum requirement (sensitive areas) Sludge: 50% Incineration, 50% reuse

Re0595

**Table 1 Continued: Scenarios in the Danube Basin with corresponding C, N, P (and S) balances of the total system nutrition with Agriculture: Plant and Animal nutrition, Human nutrition and Waste as well as waste water Management**  
**Period: 2000- (2012) 2015**  
**(G= Germany, A= Austria, CEE= Central and Eastern European EU)**

<b>Scenarios</b> → with corresponding sustainable criterions	<b>Agriculture:</b> <b>Plant and Animal nutrition</b> (also Feed Industry) → Feed production and consumption, Food production	<b>Human nutrition</b> (also Food Industry) → Food processing and consumption	<b>Waste and Waste Water Management</b> (Infrastructure Sewage, TP) → Nutrient removal and recycling
<i>Efficiency + Consistency +Sufficiency</i>	<b>SUSTAINABLE DEVELOPMENT</b>		
<b>Scenario 4:</b> <b>Sustainability / Green = Regional Markets (RM)</b> → <b>Efficiency + Consistency +Sufficiency</b> Urbanisation lesser than Scenario 2+3	Need oriented feed and food production / Structural changes: Integrated need oriented plant and animal production G+A+CEE Optimised foreign trade with feed and food (imports and exports) → Simultaneously economical, ecological and social optimisation	Healthy food consumption (esp. animal fat +protein/meat) Need oriented food consumption D+A+CEE	Sewerage: improved on site treatment and reuse Treatment: nutrient removal as minimum requirement (sensitive areas) Sludge: 20% Incineration, 80% reuse
<b>Scenario 5:</b> <b>Policy Scenario = Weak Sustainability</b> Urbanisation like Scenario 2	Expected situations according to the present and proclaimed (inter-)national laws and directives as well as intensions and their implementations regarding agriculture, Human nutrition and Waste as well as Waste Water Management(i.e. also intensions of ICPDR (2001/2005) for N and P emission reduction)		
	Nitrate directive (1991) IPPC-directive (1996) UN/ECE (1999) + NEC/EU (2000)directives Agenda of Rio (1992) Agenda 2000 of the EU (1999) EU water framework directive (2000) National directives	Open declarations for food Recommendations for healthy nutrition	Sewerage: all settlements > 2000 pe Treatment: Carbon removal as minimum requirement (normal areas) and improved treatment if ambient water quality requires it. Sludge: 50% Incineration, 50% reuse
<b>Scenario 6:</b> <b>Consistency Black Sea (CBS)</b> Urbanisation like Scenario 2	<b>Nutrient management in the Danube Basin oriented on the critical levels and loads of the N and P inputs from the delta into the Black Sea: Critical nutrient loads and environmental limits for the Western Black Sea</b> Based on tolerable natural loads of N, P and Si from the Danube Basin to the Black Sea sets of measures are combined in a way that this goal of tolerable emissions / immissions reach in a most effective way. The question is what are the minimum requirements in nutrient management (agriculture, human nutrition, waste water management) in the Danube Basin to reach prerequisites for a stable development of the Black Sea ecosystem.		

Re0595

Scenarios overview daNUbs final , Danubs III

**Table 2 : Characteristics of Scenarios daNUbs**

		2000	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5
Population total	10 <sup>6</sup> inh.	82,1	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2
Population urban	10 <sup>6</sup> inh.	57,6	54,2	54,2	54,2	54,2	54,2
Population rural	10 <sup>6</sup> inh.	24,5	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Specific P-emissions	gP/(inh.d)	3,6	3,6	4,7	3,00	2,50	3,00
Connections to sewers	% of total inh	62	62	80	80	78	80
Connections to wwtp	% of total inh	47	47	80	80	78	80
Mechanical wwtp	% of total inh.	6	6	0	0	0	0
Biol. wwtp with C-removal	% of total inh.	21	21	56	17	16	39
Biol. wwtp with N,P removal	% of total inh	20	20	24	63	62	41
N-efficiency of treatment	% of inflow to wwtp	50	50	45	69	70	56
P-efficiency of treatment	% of inflow to wwtp	57	58	51	77	77	62
<b>Animal density: Area specific</b>	<b>AU/ha<sub>AA</sub></b>	<b>0,49</b>	<b>0,49</b>	<b>0,73</b>	<b>0,73</b>	<b>0,20</b>	<b>0,56</b>
<b>Animal density: Inhabitant specific</b>	<b>AU/inh</b>	<b>0,24</b>	<b>0,24</b>	<b>0,38</b>	<b>0,38</b>	<b>0,10</b>	<b>0,28</b>
Use of mineral fertilizer	kgN/(ha <sub>AA.a</sub> )	33	33	65	48	25	44
<b>N-efficiency of plant production*</b>	<b>%*</b>	<b>64</b>	<b>65</b>	<b>65</b>	<b>62</b>	<b>66</b>	<b>60</b>
<b>Surplus on agricultural area</b>	<b>kgN/(ha.a)</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>58</b>	<b>47</b>	<b>22</b>	<b>40</b>
Reduction of tile drainage	% of drained area	0	0	0	20	20	10
NH <sub>3</sub> -N deposition reduction	% of Sc0	100	100	119	100	78	104
Erosion abatement**	% of arable land	0	0	0	50	100	0

\* N-in harvested crops in relation to N input (fertiliser, deposition, N-fixation)

re0653

\*\* Minimum tillage, mulch techniques, i.e. mulch seeding ; intercropping

**Table 3: N-surpluses (Field balance = Soil surface balance) and Animal Dung Units (ADU) of agriculture in the Danube-13 countries and EU-15 in reference 1999 = Scenario Business As Usual (BAU) (Behrendt 2004)**

Countries	N- surplus		ADU · ha AA <sup>-1</sup> *)
	kg ha · AA <sup>-1</sup>	%	
<b>1. Germany (Bavaria and Baden-Württemberg) [DE]</b>	<b>81.6</b>	<b>301</b>	<b>1.29</b>
<b>2. Slovenia [SI]</b>	<b>73.9</b>	<b>273</b>	<b>1.14</b>
<b>3. Czech Republic [CZ]</b>	<b>47.4</b>	<b>175</b>	<b>0.53</b>
<b>4. Austria [AT]</b>	<b>43.6</b>	<b>161</b>	<b>0.80</b>
<b>5. Croatia [HR]</b>	<b>34.1</b>	<b>126</b>	<b>0.26</b>
<b>6. Republic of Slovakia [SK]</b>	26.5	98	0.40
<b>7. Romania [RO]</b>	22.8	84	0.41
<b>8. Hungary [HU]</b>	22.5	83	0.29
<b>9. Moldova [MD]</b>	20.0	74	0.30
<b>10. Bosnia-Herzegovina [BH]</b>	17.5	65	0.31
<b>11. Bulgaria [BG]</b>	15.5	57	0.34
<b>12. Ukraine [UA]</b>	13.4	49	0.23
<b>13. Serbia-Montenegro [CS]</b>	13.3	49	0.45
<b>14. Average Danube Countries (DC-13)</b>	<b>27.1</b>	<b>100</b>	<b>0.52</b>
<b>15. Average EU-15</b>	<b>57.1</b>	<b>210</b>	<b>0.88</b>

\*) ADU: Animal Dung Unit according German and Austrian definition: 80 kg N · yr<sup>-1</sup> with organic manure (excretion: ca. 100 kg N · yr<sup>-1</sup>)

Re0636

Table 4: N surplus (Field balance = Soil surface balance) in agriculture of the individual 13 Danube countries (DC-13) according to the scenarios 1- 5 of daNUbs

Danube Countries (DC)	Scenarios daNUbs (D 3.1/ 3.2 and D 3.3)									
	1. Reference 1999 = Business as usual		2. Worst case: Global Markets		3. Best available Technique		4. Sustainable (Green): Regional Markets		5. Prognosis: Policy	
	N – Surplus in Agriculture (Soil surface = Field balance) [Behrendt 2004]									
	kg · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup>	%	kg · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup>	%	kg · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup>	%	kg · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup>	%	kg · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup>	%
1. DE: BW+ BY	81.6	100	80.9	99	74.4	91	43.4	53	87.4	107
2. SI	73.9	100	75.7	102	60.0	81	48.1	65	60.2	81
3. CZ	47.4	100	97.3	205	79.9	169	30.1	64	44.9	95
4. AT	43.6	100	43.4	100	33.6	77	23.4	54	52.1	119
5. HR	34.1	100	46.2	135	36.6	107	18.8	55	27.7	81
6. SK	26.5	100	75.0	283	61.7	233	31.3	118	39.8	150
7. RO	22.8	100	52.1	229	41.1	180	19.3	85	31.5	138
8. HU	22.5	100	61.7	274	48.7	216	18.8	84	43.6	193
9. MD	20.0	100	47.6	238	37.7	189	19.1	96	33.4	167
10. BH	17.5	100	38.9	222	30.9	177	22.2	127	31.6	181
11. BG	15.5	100	54.4	351	42.4	274	11.9	77	21.2	137
12. UA	13.4	100	39.6	296	31.3	234	13.6	101	22.0	164
13. CS	13.3	100	69.9	526	55.4	417	16.7	126	41.1	309
Average: DC -13	27.1	100	58.1	214	46.7	172	21.0	77	38.9	144

Re0635

Table 5:

1. Average N-surplus of agriculture within the Danube Basin (kg · ha<sup>-1</sup> · yr<sup>-1</sup>) [Soil Surface Balance = Field balance] and
2. Total Input of N and P (kt · yr<sup>-1</sup>) of point and diffuse sources to the Delta of the river Danube (→ Black Sea)

- A) Reference situations: at present (2000) [100]
- B) with different Scenarios 1- 5

Situations [Isermann, K. , Isermann., R., Zessner, M.: D3.1/3.2, D3.3 2004]	1. N-surplus agriculture (kg · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup> ) [Behrendt 2004]	2. Input to the Delta (diffuse + point sources) (kt · ha <sup>-1</sup> · yr <sup>-1</sup> ) [van Gils 2004]	
		N	P
A) Reference situations: at present (1999/2000)	27.1 (100) <sup>1)</sup>	451 (100)	20.2 (100)
B) Scenarios:			
1. Business as usual (BAU)	27.1 (100) <sup>1)</sup>	406 (90)	18.6 (92)
2. Worst case: Global Markets (WC → 1989)	58.1 (214) (100)	493 (109) (100)	26.3 (130) (100)
3. Best available technique (BAT)	46.7 (172) (80)	410 (91) (83)	12.0 (59) (46)
4. Sustainability: Regional Markets (Green Scenario)	21.0 (77) (36)	310 (69) (63)	8.8 (44) (33)
5. Prognosis: Policy	38.9 (143) (67)	424 (94) (86)	19.7 (98) (75)

<sup>1)</sup> Compare: Bavaria + Baden-Württemberg: 81.6  
Ukraine: 13.4

re0628

## References

- Deliverables daNUbs EVK1-CT-2000-00051 ( 2/2001-1/2005): ISERMANN, K.& R. ISERMANN (September 2004): D3.1 The early and present non-sustainable situations, D3.2 Future more of less sustainable situations: 132 p. – ISERMANN, K., R. ISERMANN M.ZESSNER (November 2004):D3.3 Possible outlooks: Prognoses-Agriculture, Human Nutrition, Waste and Waste Water , 46 p. –ISERMANN, K. R. ISERMANN (January 2005):D 3.4 Final report on results of the workpackage 3, 123 p.
- Final Report EVK1-CT-2000-0005 (2/2001-1/2005): Section 5: Executive Summary; Section 6: Detailed Report, (March 2005) 69 p.,Coordinator: Institute for water Quality and Waste Management, Vienna, University of Technology, Prof. Helmut Kroiss, Project homepage: [http:// danubs.tuwien.ac.at](http://danubs.tuwien.ac.at)

# Ground Water Protection – Compatibility of Ecological and Economical Aims

T. Übleis, M. Höfferer

Oö. Wasserschutzberatung  
Figulystrasse 34  
A-4020 Linz

## Summary

The main aim of the Oö. Wasserschutzberatung (Upper Austrian Water Protection Consulting) is to enhance groundwater protective agriculture in Upper Austria by the means of consulting and adult education of farmers to reduce a negative impact (mainly of nitrate) into the groundwater. Furthermore it is indispensable to take care of local water management. The association “Oö. Wasserschutzberatung” was founded by the Upper Austrian government and the chamber of agriculture for Upper Austria.

For the acceptance of groundwater protection measures by the farmers it is important to link ecological with economical needs. Therefore economical topics are an important part of the consulting. Three short examples regarding the subjects of organic manure, participation in environmental programs and advantages of growing catch crops are given. These examples show that environmental measures influence the contribution margin positive even without governmental payments.

## 1. Organic Manure

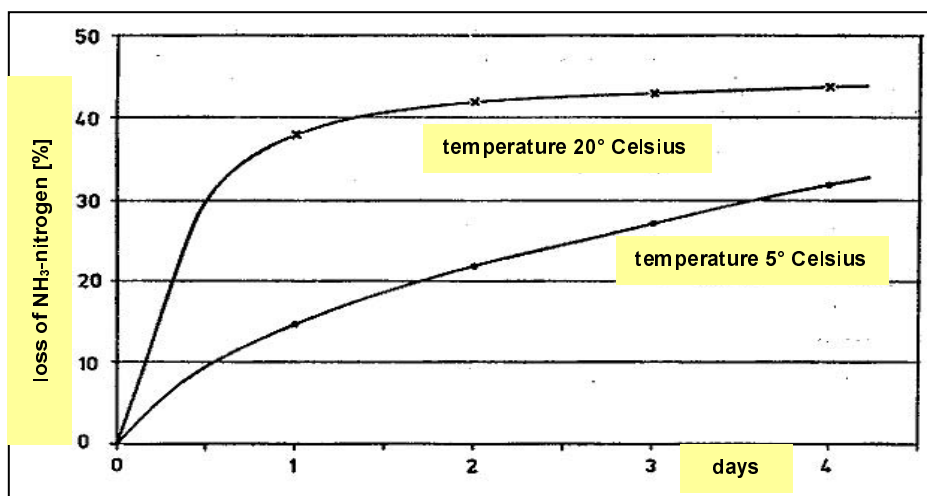
Life stock manure is not only a waste product, it contains nutrients which can be valued like nutrients contained in mineral fertiliser. This can help to reduce inputs. It is important to optimize the time of spreading manure as well as enough capacity of storage room. This is necessary for a "just in time"-fertilisation of the plants. Of course professional handling, for instance no spreading at high temperatures, is necessary.

In table 1 there are shown the values of selected organic manures (€ per m<sup>3</sup>).

**Tab. 1.** Value of manure in Euro according to different domestic species (recommendation)

manure	€ per m <sup>3</sup>	kg N/m <sup>3</sup> (on field)	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /m <sup>3</sup>	kg K <sub>2</sub> O/ m <sup>3</sup>
<b>dung from chicken</b>	17	7,7	12	7
<b>liquid manure from dairy cattle</b>	9	3	0,2	9,5
<b>liquid manure from breeding sow</b>	9	5,6	4,4	4
<b>liquid manure from fattened pig</b>	8	4,5	3,5	3,5

For the calculation the nutrients are considered: Nitrogen (€ 0,7 per kilogramme), phosphorus (€ 0,6 per kilogramme) and potassium (€ 0,7 per kilogramme). Basis of calculation is "Sachgerechte Düngung", edition number 6.



**Fig. 1.** Spreading of organic manure: Loss of ammoniac [%] due to temperature and duration until the beginning of tillage operations [days]

Figure 1 shows ammoniac loss due to temperature. Spreading at moderate temperatures and tilling into the soil within four hours ensures that the main amount of nitrogen gets into the soil and so plants are able to assimilate the nitrogen.

Table 2 shows an example of an economical approach of fertilisation with organic manure. The fertilisation of maize with 40 m<sup>3</sup> liquid manure from fattened pig with loss of 40% due to inappropriate spreading is assumed. The missing nitrogen is compensated with mineral fertilisers. The value of nitrogen of the different fertilisers is balanced.

**Tab. 2.** Fertilisation of maize – valuation of nitrogen from manure considering potential loss

	m <sup>3</sup>	kg nitrogen	€
liquid manure from fattened pig	40	180	126
loss of 40 % when spread inappropriately		- 72	-50
value after loss		108	76
costs for compensation with mineral fertiliser		+ 60	- 42
value when costs for compensation are discounted		168	34

The example shows that the value of the liquid manure is reduced from 126 € to 76 €. If the compensation costs are discounted the result is a value for the organic manure of 34 €. The additional costs for spreading the mineral fertiliser are not considered. It is important to point out that appropriate handling of the manure is necessary for reducing loss of nitrogen. If the year's effect of nitrogen is not considered over-fertilisation is most likely. In practice this often occurs. Thereby the value of the manure is additionally reduced. In years when the organic fertilisers are absolutely effective over-fertilisation occurs and problems in the groundwater are produced (both, the organic and mineral fertilisers take effect).

The example above shows that it is worth to pay attention to organic manure. Only the main nutrients (N,P,K) were calculated. Manures are fertilisers for all nutrients and help to increase the soil fertility. All these “hardly valuable” factors were not calculated but help to preserve a long-term fertility of our soils.

## 2. Participation in environmental programs - subsidies for farmers

If a farmer joins the program ÖPUL 2007 and "Grundwasser 2010" he can gain subsidies for ecological measures. The following comparison shows considerable differences in earned profits.

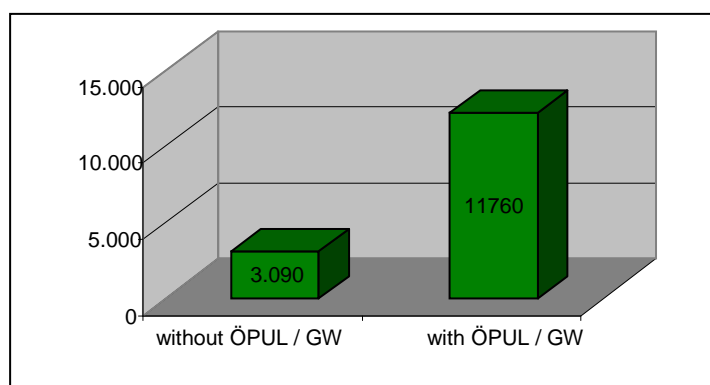
A farm with 30 hectares farmland joins the ÖPUL 2007-program (Austrian environmental program for sustainable agriculture) and the “Grundwasser 2010” (ÖPUL / GW). For the calculation the following crop rotation of 3 hectares of green fallow, 5 hectares of canola, 8 hectares of wheat, 10 hectares of maize and 5 hectares of barley is given. Figure 2 shows revenues when participating or not participating. The column on the left diagrammed in figure 2 shows only revenues from market, the column on the right shows revenues from market and ÖPUL / GW-payments. Table 3 shows the measures participated in ÖPUL / GW and the payments. For this example total subsidies of 8.660 Euro are given. A better participation is hardly possible.

**Tab. 3.** Payments from ÖPUL / GW listed by measures

measures	hectares, m <sup>3</sup>	premium/ha	total premium €
basic premium in UBAG*	27,00	85	2.295
catch crop growth (Var. D - growing a mixture of at least two different cultures on 35 % of crop land)	27,00	100	2.700
mulch seeding	5,00	40	200
low-loss spreading of liquid manure	500 m <sup>3</sup>	1 €/m <sup>3</sup>	500
"Grundwasser 2010" - project			2.973
total payment ÖPUL / GW			8.668

\*UBAG is a basic measure in ÖPUL 2007 and stands for environmentally acceptable agriculture

A loss of more than 8.000 Euro is given without participating the ÖPUL / GW ( figure 2).



**Fig. 2.** Annual payments based on identical crop rotation

Catch crop growing, mulch seeding and low-loss spreading of liquid manure helps to preserve nutrients and therefore participation can be recommended. But there are much more ecological

reasons for this measures, most of them can hardly be valued - for example the increase of soil fertility.

To participate in ecological programs with subsidies is also an economic advantage.

### 3. Advantages of growing catch crops

One of the most important measures for groundwater protection is to cultivate catch crops. The advantages are listed below:

- nitrate and other nutrients are preserved in plants
- reduction of leaching and reduced nitrate impact into groundwater
- general improvement of soil structure
- protection against soil erosion
- promotion of soil animals
- reduced soil tillage is possible
- weed control by optimised catch crop growth
- benefits by legumes as catch crops
- advantage of animal food
- beautiful landscape because of blooming plants
- providing of forage for bees and wildlife

**Tab. 5.** Example for valuation of catch crop growth (manpower is not calculated)

expenses per hectare	benefits per hectare
€ 30 average cost of seeds € 75-140 for sowing (depending on the cultivation method)	€ 28 by preserving 20 kilograms (e.g.) of nitrogen and potassium € 14 accumulation of humus and release of nitrogen (e.g.: + 20 kg N/ha) € 14 soil erosion protection (basis (e.g.): + 20 kg N/ha) € 10 20 % less diesel fuel and abrasion of machines € 25 weed control  € 100 additional payment ÖPUL/ GW
<b>€ 105 - 170</b>	<b>€ 191</b>

In table 5 a comparison of expenses and benefits of growing catch crops is shown as an example. Note that some benefits cannot be valued and others are based on nutrient saving. The valuation is done on a low level, that means that the benefits are in summary much higher.

Regardless of the financial advantages catch crop growth can also be considered as a main measure for groundwater and soil protection. When incorporating not calculable benefits an economical advantage is given in either case, even without governmental payments.

# Ausmass und Ursachen der sinkenden Nitratgehalte im Grundwasser des Kantons Bern

E. Spiess und V. Prasuhn

Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART  
Reckenholzstrasse 191  
CH-8046 Zürich - Schweiz

## Summary

### Impact and causes of decreasing nitrate contents in the groundwater of the canton of Berne

In 1993, direct payments bound to ecological measures were introduced into Swiss agriculture. Within the framework of the evaluation of these ecological measures temporal trends of nitrate contents in groundwater and the reasons for declining contents were investigated in a case study. In the four geographic regions of the canton of Berne calculations with the substance flow model MODIFFUS were carried out for the years 1990 and 1999. In a first step water flows were calculated for each grid cell of 1 ha in size by means of long-term average values. The following assessment of the amount of nitrate leaching was made by multiplication of a crop-specific standard value for nitrate leaching based on lysimeter trials and values from literature with correction factors for differences in the volume of percolating water, altitude, soil type, the quantity of animal manure, denitrification and drainage system.

Results show nitrate contents decreasing by 12% on average. In the Central Plain and in the Prealps of the canton of Berne, nitrate contents declined considerably due to decreasing areas with cereals and potatoes and larger areas with temporary grassland and sugar beets. Apart from varying crop areas a lower N fertilizer use and more intensive cover cropping contributed most to decreasing nitrate contents in groundwater. Half of the reduction could be due to ecological measures.

## 1 Einleitung

In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts kam es infolge der Intensivierung in der schweizerischen Landwirtschaft zu einem starken Anstieg der Nitratgehalte im Grundwasser (BUWAL 1993). Dieser führte dazu, dass der Nitratgehalt des Trinkwassers in den achtziger Jahren an vielen Orten über dem Anforderungswert der GEWÄSSERSCHUTZVERORDNUNG (1998) von 25 mg NO<sub>3</sub>/l lag. Bei einigen Wasserfassungen wurde auch der in der FREMD- UND INHALTSSTOFFVERORDNUNG (1995) festgelegte Toleranzwert für Trinkwasser von 40 mg NO<sub>3</sub>/l überschritten.

Mit den 1993 eingeführten Direktzahlungen und den damit verbundenen Ökomaßnahmen hat sich das Bundesamt für Landwirtschaft unter anderem zum Ziel gesetzt, den Nitratgehalt des Grundwassers zwischen den Referenzjahren 1990-92 und dem Jahr 2005 um durchschnittlich 5 mg NO<sub>3</sub>/l zu reduzieren.

Zum Bezug von allgemeinen Direktzahlungen sind Landwirte berechtigt, die den "ökologischen Leistungsnachweis" (vergleichbar mit Cross Compliance in der EU) erfüllen. Dieser beinhaltet unter anderem eine ausgeglichene Stickstoffbilanz, eine geregelte Fruchtfolge, einen angemessenen Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen und einen geeigneten Bodenschutz. Ökobeiträge werden auch für verschiedene Typen von ökologischen Ausgleichsflächen, den



extensiven Anbau von Getreide und Raps sowie für den Biolandbau ausgerichtet (DIREKTZAHLUNGSVERORDNUNG 1998).

Im Rahmen der Evaluation der Ökomaßnahmen (F. HERZOG & W. RICHNER, 2005), die aufgrund der NACHHALTIGKEITSVERORDNUNG (1998) durchzuführen ist, wurde der Einfluss verschiedener Einflussfaktoren auf die Reduktion der Nitratauswaschung zwischen 1990 und 1999 in den vier Regionen des Kantons Bern (Alpen, Voralpen, Mittelland und Jura; Tab. 1) mittels des Stoffflussmodells MODIFFUS untersucht und mit Messwerten aus Grundwasserfassungen verglichen (E. SPIESS & V. PRASUHN, 2006).

**Table 1.** Höhenlage, Bodennutzung und Nitratgehalte in den vier Regionen des Kantons Bern  
Altitude, land use and nitrate contents in the four regions of the canton of Berne

Region	Höhe ü.M.	Bodennutzung				Nitratgehalt <sup>1)</sup> (in mg NO <sub>3</sub> /l)		
		Wald	Acker	Dauerwiesen	Rest	1990-92	2002-04	Differenz
Alpen	550 - 4200	27%	0%	33%	39%	2,3	2,6	0,3
Voralpen	500 - 1500	36%	24%	33%	7%	20,6	16,2	-4,4
Mittelland	400 - 900	25%	41%	12%	21%	28,8	24,4	-4,4
Jura	450 - 1600	53%	11%	30%	6%	9,0	7,9	-1,1

<sup>1)</sup> Messwerte aus Grundwasserfassungen (E. SPIESS & V. PRASUHN, 2006 und unveröffentlichte Werte)

## 2 Stoffflussmodell MODIFFUS

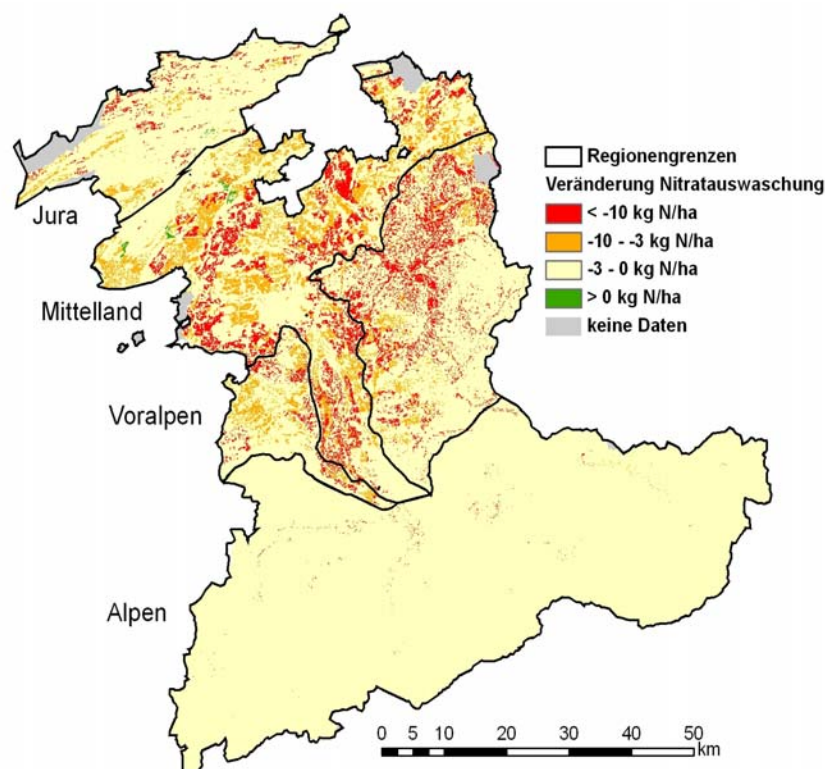
MODIFFUS ist ein Modell zur Abschätzung der diffusen Einträge von Stickstoff und Phosphor in die Gewässer und wurde detailliert in V. PRASUHN & R. MOHNI (2003) beschrieben. Für die vorliegende Arbeit wurden nur die Module "Wasserhaushalt" und "Nitratauswaschung" von MODIFFUS verwendet. Das Modell beruht auf diversen naturräumlichen, klimatischen, pedologischen und landwirtschaftlichen Eingangsdaten, welche mittels eines geographischen Informationssystems miteinander verknüpft werden. Als räumliche Einheit dienen Rasterzellen von einer Hektare Grösse. In einem ersten Schritt wurden die Wasserflüsse für jede der 573'548 Rasterzellen berechnet. Die Sickerwassermenge ergab sich aus der Differenz zwischen dem Niederschlag einerseits und der Evapotranspiration, dem Oberflächenabfluss und dem Drainageabfluss andererseits. Infolge der Verwendung von langjährigen Mittelwerten wurde für 1990 und 1999 mit den gleichen Sickerwassermengen gerechnet. In einem zweiten Schritt erfolgte die Berechnung der ausgewaschenen Nitratmenge aufgrund von nutzungsspezifischen Ausgangswerten für die Nitratauswaschung. Im Ackerbau wurden hauptsächlich aus Lysimeterversuchen abgeleitete Ausgangswerte für Kulturkombinationen (= Vorkultur - Zwischenkultur - Nachkultur) verwendet. (V. PRASUHN & E. SPIESS, 2003). Die Ausgangswerte wurden dann mit Korrekturfaktoren für Unterschiede in der Sickerwassermenge, der Höhenlage, des Bodens, der Wirtschaftsdüngermenge, der Denitrifikation und der Drainage verrechnet.

## 3 Resultate und Diskussion

Die Abschätzungen mit dem Stoffflussmodell MODIFFUS ergaben, dass eine bedeutende Reduktion der ausgewaschenen Nitratmenge zwischen 1990 und 1999 vor allem unter den Ackerflächen im Mittelland und in den Voralpen erreicht worden ist (Fig. 1).

Fünf Einflussfaktoren (Tab. 2), welche sich zwischen 1990 und 1999 verändert haben, konnten in MODIFFUS berücksichtigt werden. Nach der Modellrechnung haben die veränderten Kulturanteile im Ackerbau, der geringere Einsatz von N-Düngern im Ackerbau sowie der vermehrte Anbau von Zwischenkulturen am meisten zu den tieferen Nitratgehalten im Grundwasser beigetragen. Die Auswirkungen der restlichen Faktoren waren dagegen gering. Insgesamt dürfte über die Hälfte der 12-prozentigen Reduktion der Nitratauswaschung zwischen 1990 und 1999 eine Folge der verschiedenen Ökomaßnahmen sein, während der Rest vor allem auf

die veränderten agrarpolitischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zurückgeführt werden kann.



**Fig. 1.** Veränderung der mit MODIFFUS berechneten ausgewaschenen Nitratmengen im Kanton Bern zwischen 1990 und 1999 (in kg N/ha)

Variation in the amount of nitrate leaching calculated with MODIFFUS for the canton of Berne between 1990 and 1999 (in kg N/ha)

**Table 2.** Geschätzte Reduktion der Nitratauswaschung zwischen 1990 und 1999 durch verschiedene Einflussfaktoren (in % der 1990 unter der gesamten Fläche ausgewaschenen N-Menge)

Estimated reduction in nitrate leaching between 1990 and 1999 due to various influencing factors (in % of the amount of N leached from the whole surface of the canton of Berne in 1990)

Einflussfaktor	Beitrag
veränderte Kulturanteile im Ackerbau	4%
geringerer N-Düngereinsatz im Ackerbau	4%
vermehrter Anbau von Zwischenkulturen	3%
geringere N-Deposition	1%
Extensivierung im Futterbau	< 1%
Total	12%

- Veränderung der Kulturanteile im Ackerbau

Während die Ackerfläche zwischen 1990 und 1999 nahezu konstant blieb, traten bei einzelnen Kulturen zum Teil große Flächenänderungen auf. Bezogen auf den gesamten Kanton verzeichneten das Getreide (- 16%) sowie die Kartoffeln (- 27%) bedeutende Abnahmen, Zunahmen wurden dagegen vor allem bei den ein- und mehrjährigen Ansaatwiesen (+ 18%) und den Rüben (+ 32%) beobachtet. Die Nitratauswaschung wurde durch diese Entwicklung reduziert. Bei der Kartoffelernte wird der Boden intensiv bearbeitet und viel Sauerstoff gelangt in die oberste Bodenschicht. Dies fördert die N-Mineralisierung. Da im Spätherbst die N-Aufnahme durch die Nachkultur häufig gering ist, können hohe N-Verluste entstehen. Dies ist zum Beispiel bei Wintergetreide nicht nur nach Kartoffeln, sondern auch nach dem Umbruch einer Ansaatwiese der Fall. Zuckerrüben dagegen nehmen bis spät in den Herbst Stickstoff auf und hinterlassen nach der

Ernte geringe  $N_{\min}$ -Mengen im Boden. Die größere Ansaatwiesenfläche dürfte die bedeutendste Auswirkung auf die Nitrat auswaschung gehabt haben. Durch den dauernden Bodenbewuchs wird wenig Nitrat ausgewaschen. Zu größeren Verlusten kommt es erst nach dem Umbruch der Ansaatwiese.

- Geringerer N-Düngereinsatz im Ackerbau

Lysimeterversuche zeigen, dass die Nitrat auswaschung unter Ackerkulturen mit steigender N-Düngung zunimmt (J. NIEVERGELT, 2002; W. STAUFFER und E. SPIESS, 2005). Durch die Anforderung einer ausgeglichenen N-Bilanz im ökologischen Leistungsnachweis wird die Höhe der N-Düngung begrenzt. Seit der Einführung der Ökomaßnahmen hat deshalb der Einsatz von N-Mineraldüngern (- 23% in der Schweiz zwischen 1990 und 1999) und die Wirtschaftsdüngermenge (- 9% im Kanton Bern) weiter abgenommen.

- Vermehrter Anbau von Zwischenkulturen

Die Fläche mit Zwischenkulturen war 1990 und 1999 fast gleich groß. Da aber die Fläche der im Frühjahr gesäten Kulturen, vor denen Zwischenkulturen normalerweise angebaut werden, abnahm, war dies mit weniger Winterbrache und einer geringeren Nitrat auswaschung verbunden. Dies ist vermutlich zu einem großen Teil auf die Anforderungen des ökologischen Leistungsnachweises in Bezug auf die Bodenbedeckung zurückzuführen.

- Geringere N-Deposition

Die N-Deposition aus der Luft geht seit 1980 kontinuierlich zurück, weil die Tierbestände und die damit verbundenen Ammoniakverluste abgenommen haben und die Stickoxid-Emissionen aus Verkehr und Industrie reduziert werden konnten. Dadurch verminderte sich der atmosphärische N-Eintrag in den Boden.

- Extensivierung im Futterbau

Durch die Förderung der ökologischen Ausgleichsflächen wird auf vielen Wiesen weniger oder kein N-Dünger ausgebracht. Dies dürfte mit einer geringeren Nitrat auswaschung verbunden sein, wobei die Reduktion pro Flächeneinheit vermutlich wesentlich geringer ausfällt als bei der Extensivierung im Ackerbau.

## Literatur

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (1993): Situation der Trinkwasserversorgung.- Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 212. Bern, 128 S.

DIREKTZAHLUNGSVERORDNUNG (1998). SR 910.13. [www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html) (November 2006).

FREMD- UND INHALTSSTOFFVERORDNUNG (1995): Verordnung des EDI über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln. SR 817.021.23. [www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html) (November 2006).

GEWÄSSERSCHUTZVERORDNUNG (1998). SR 814.201. [www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html) (November 2006).

HERZOG, F & W. RICHNER (Hrsg.) (2005): Evaluation der Ökomassnahmen – Bereich Stickstoff und Phosphor.- Schriftenreihe der FAL Nr. 57, 132 S., Agroscope FAL Reckenholz, Zürich.

NACHHALTIGKEITSVERORDNUNG (1998): Verordnung über die Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. SR 919.118. [www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html) (November 2006).

NIEVERGELT, J. (2002): Nitrat und Fruchtfolgen 20 Jahre lang beobachtet.- Agrarforschung, 9, 28-33.

PRASUHN, V. & R. MOHNI (2003): GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz, 223 S. [www.art.admin.ch/themen/00544/00813/index.html?lang=de](http://www.art.admin.ch/themen/00544/00813/index.html?lang=de) (Januar 2007).

PRASUHN, V. & E. SPIESS (2003): Regional differenzierte Abschätzung der Nitrat auswaschung über Betriebszählungsdaten.- In: Bericht über die 10. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irnding, 55-57.

SPIESS, E. & V. PRASUHN (2006): Weniger Nitrat im Grundwasser dank Ökomassnahmen.- Agrarforschung, 13, 4-9.

STAUFFER, W. & E. SPIESS (2005): Einfluss unterschiedlicher Nutzung und Düngung auf Sickerwassermenge und Nitrat auswaschung.- In: Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung.- In: Bericht über die 11. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irnding, 213-215.

# Modelling of Sustainable and Groundwater Protective Cropping Systems Using Long-term Scenario Simulations

Ch. Lanthaler

Karl-Franzens-University Graz  
Institute of Geography and Environmental Science  
Hochgreitweg 4  
A-8046 Stattegg/Graz

## Zusammenfassung

Im Rahmen einer Dissertation wurden Langzeit-Simulationsrechnungen mit dem Modell CropSyst für unterschiedliche Fruchtfolge- und Maismonokulturvarianten hinsichtlich der Düngemengen und -daten für Böden des Leibnitzer Feldes und das Untere Murtal (Südsteiermark, Österreich) erstellt. Nach Kalibrierung und Validierung des Modells an Lysimeterdaten der Station Wagna im Leibnitzer Feld zeigte sich, dass das Modell die Sickerwassermengen sehr gut, die Stickstoffausträge im Mittel zufrieden stellend simuliert. Betrachtet man die Ergebnisse der Szenarien für jene Böden mit den größten Flächen im Untersuchungsgebiet, so kann mit keiner der gerechneten Fruchtfolgevarianten, auch bei einer reduzierten Düngemenge 119 kgN/ha/a (oder 107 kgN/ha/a) bei Mais, 77 kgN/ha/a bei Wintergerste und 40 kgN/ha/a für Kürbis die Nitratkonzentration von unter 50 mg/l – mit wenigen Ausnahmen – nicht erreicht werden. Alle simulierten Maismonokulturvarianten mit Düngemengen bis zu 139 kgN/ha/a führen zu geringeren Austragsmengen und -konzentrationen als die Fruchtfolgen. Für die meisten tiefgründigen Böden ist bei einer mineralisch-organischen Düngung mit 110 kgN/ha/a die Grundwasserverträglichkeit (Nitratkonzentration unter 50 mg/l) gewährleistet, bei einer Düngemenge von 139 kgN/ha/a nur für einige tiefgründige Böden. Die Erträge bei Mais in der Fruchtfolge liegen über jenen in der Monokultur, wobei eine rein organische Düngung mit Gülle zu geringeren Erträgen als bei der mineralisch-organischen Variante führt. In der Fruchtfolge zeigen sich bei einer Düngung von Mais mit 119 oder 139 kgN/ha/a kaum erkennbare Unterschiede in der Ertragslage, jedoch sinken die Erträge merkbar bei einer Düngung mit 110 kgN/ha/a. Für Wintergerste stellt die Reduktion der Düngemenge von 84 auf 77 kg/ha/a deutliche Ertragsminderungen dar, hingegen steigert eine Düngererhöhung auf 99 kg/ha/a den Ertrag nicht. Signifikante Veränderungen im Ertrag bei unterschiedlichen Düngungen von Ölkürbis wurden nicht festgestellt.

## Introduction

This report shows selected results of a dissertation finished in 2007 on “Sustainable Groundwater-Protective and Economical Cropping Systems of Objective 2 Areas in Southern Styria (Austria)—Results of Model-Based Long-Term Scenario Simulations of Groundwater Recharge and Nitrogen Leaching in Quaternary Sediments of the Mur Valley”. The purpose of the thesis is to simulate different agricultural cropping systems and to find sustainable cropping and fertilisation management strategies for protecting drinking water resources in the entire region of the Leibnitzer Feld and Unteres Murtal. The goals of the thesis overlap with the ones mentioned in the application form “directive for promotion of non-operational F&E projects (within the scope of the EU regional promotion)” of the BIOLBGW project, of which this dissertation is a part (JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft m.b.H., n.d., p. 2). Goals of the research are:

- to evaluate the effect of already applied crop rotations and fertilisation amounts on nitrate leaching and groundwater quantity and quality with a special modelling tool for the agroecosystem to determine the status quo; cropping systems from 1998-2005 are simulated; and
- to compare the status quo to various cultivation systems with higher and reduced fertilisation amounts as well as to maize single-crop farming for the same years 1998-2005.

The modelling results should support decision makers in water management, agricultural environment advisers and finally farmers about effective fertiliser amounts and cultivation methods in the future. However, the results of modelling cannot reflect the best cropping system for a single field but for a soil type of parts of communities combined with weather data and certain crop rotations and cultivation management strategies applied there.

## **Material and Methods**

### **The Model Area**

The research and model area of the Leibnitzer Feld and Unteres Murtal is part of the Mur valley in southern and south-eastern Styria, province of Austria. Quaternary fluvio- and fluvioglacial sediments of the basin form the main aquifer which is of vital importance for supplying the inhabitants with potable water. Due to the hydraulic conditions in the aquifer and the interaction between the receiving water course and the aquifer, only the lowest part of the Quaternary sediments is filled with groundwater. The gravel and sand and soils above this zone form the unsaturated zone of the groundwater reservoir (see FANK 1999 for a hydrological and hydrogeological description of the Leibnitzer Feld and FANK et al. 1994 for the Unteres Murtal).

The Pleistocene and Holocene terraces and bottom of the Leibnitzer Feld and Unteres Murtal belong to the climatic region of the “Unteres Murtal”—see the classification and description in WAKONIGG 1978, p. 377. In an altitude of 200 to 300 meters a.s.l., the climatic conditions of the valley floor are rather homogeneous: it is characterised as slight continental, warm in summer and not too cold in winter. According to data of weather stations in Leibnitz and Wagna, the annual mean temperature is 9.2° for the period of 1961-1990 (10.6° for 1992-2004). The monthly mean temperature of January comes up to -2.3° (-0.6°), and in July to 18.9° (about 21°). The mean values of precipitation in the Leibnitz area is around 907 mm for the period 1961-1990 (928 mm/a for 1992-2004); ca. 56 % are evapotranspired. In general, a favourable climate for crop farming, such as maize and grain, results from the sufficient precipitation amounts and the high average percentage of possible sunshine.

### **The “CropSyst” Model**

After comparing several models regarding input and output data, the “CropSyst” model was chosen as best suitable for simulating an area of about 204 km<sup>2</sup> to estimate soil water drainage and nitrate leaching of different soils and crop rotations. CropSyst (Cropping Systems Simulation Model), Version 4.05.03 is a conceptually simple, multi-year, multi-crop daily time step simulation model to serve as an analytic tool for studying cropping systems management and its effect on groundwater quantity and quality; it also has a link to a GIS software and a weather generator (ClimGen), see STÖCKLE, C. O. and R. NELSON, 1994 and <http://www.bsyse.wsu.edu/cropsyst/>. Water and nitrogen balance as well as crop development and growth are simulated on a daily basis. The cascade model (capacity method) of water transport in CropSyst simulates a one-dimensional vertical water flow of a soil profile; preferential flow and surface runoff can be simulated but were neglected for this modelling area. The soil profile is subdivided into horizons of ca. 5 cm (10 cm for deeper horizons); water moves downward from the soil surface filling each layer up to field capacity; the amount of water that exceeds the field capacity moves to the lower layer and finally

percolates out of the bottom soil layer. Capillary rise does not occur. The nitrogen (N) budget in CropSyst includes N transformations—simulation of net mineralization, nitrification and denitrification—ammonium sorption, N fixation, crop N demand as well as crop N uptake. CropSyst offers two possibilities for calculating evapotranspiration, the simpler Priestley-Taylor and the complex Penman-Monteith methods, the latter of which was used.

## Data Used

Soil parameters for each soil type were taken over from the soil information system of JOANNEUM RESEARCH based on the annotations to the Austrian Soil Map (Erläuterungen zur Österreichischen Bodenkarte). Water content is calculated by CropSyst using texture; field capacity was set as the initial value for soil water content of each layer. Cultivation data like fertilisation dates and amounts or tillage operations were provided by the „Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft Steiermark“ and the „Landwirtschaftliche Umweltberatung Steiermark/Agricultural Environmental Advisory Service“ for so-called Katastralgemeinden, which are parts of communities. Default plant parameters of crop morphology, growth, etc. were taken but adjusted using various literature sources, especially model reports, and calibrated using recorded values of the Wagna research station. Meteorological data was used from the two weather stations Leibnitz/Wagna and Bad Radkersburg of the Central Institute for Meteorology and Geodynamics. As the Penman-Monteith evapotranspiration was employed, daily weather data of air temperature (max./min.), precipitation amounts, solar radiation, relative humidity (max./min.) and wind speed have to be provided.

## Model Validation and Calibration

First, plant available water (PAW) amounts of several soils calculated by CropSyst were crosschecked with results of another model, the Soil Water Characteristics (SWC) tool of the SPAW model. CropSyst results highly correspond to the ones of the SWC tool, which estimates PAW not only by texture, as CropSyst does, but also uses various other soil parameters; therefore, the estimation of available water using only soil texture is a very reliable method.

The next step of validating the model but also calibrating model parameters was to compare calculated to measured results of the Wagna lysimeter station. Seepage water amounts were measured using two gravitation lysimeters, which are installed next to the fields. Two cultivation systems (maize single-crop farming and crop rotation with mainly maize, winter barley, winter rape, and oil squash) were applied on the fields as well as on the lysimeters (see for example FASTL and ROBIER 2007). CropSyst shows very high correlation of estimated to measured soil water drainage and groundwater recharge but slight inconsistencies of nitrogen leached. Mean values of calculated and measured amounts of nitrogen leached for the period 1994-2003 correspond well.

## Scenarios for the Leibnitzer Feld and Unteres Murtal

In Table 1, four different fertilisation amounts and applications (CR\_1-CR\_W) for a typical crop rotation with maize, winter barley and oil squash and three different applications for maize single-crop farming are listed. Results are summarised for four rotations (depending on which crop is grown most in a community) and mean values for 1998-2005 were calculated. CR\_1 in table 1 shows the rotation also simulated by STOTRASIM (see FEICHTINGER 2007) and can be seen as the status quo of cultivation in southern Styria. Scenario CR\_2, also listed by the Agricultural Environmental Advisory Service, has higher fertilisation amounts; in the Results section CR\_2 is only presented for nitrate concentration. The applied fertilisation amounts of crops at the Wagna research station (see scenarios and results in KUPFERSBERGER 2007) were also simulated. Scenario CR\_3 shows reduced fertilisation amounts which were adjusted to get lower nitrate leaching rates at reasonable yield amounts. Tillage operations were set according to tables provided by the Styrian

Agricultural Environmental Advisory Service and for the Wagna simulation according to tables of the Fachschule Silberberg, but are not listed here.

**Table 1.** Fertilisation scenarios for crop rotations and maize single-crop farming simulated for the Leibnitzer Feld and Unteres Murtal (1998-2005); Düngeszenarien für Fruchtfolgen und Maismonokultur, simuliert für das Leibnitzer Feld und das Untere Murtal (1998-2005)

	<b>Maize (MZ)</b>	<b>Winter barley (WB)</b>	<b>Oil squash (OS)</b>
Sowing date	April, 22	October, 13	April, 30
Crop rotation (fertilisation)	<b>Fertilisation date and amounts in kgN/ha</b>		
CR_1 (139/84/67):	- 4 days: 70 liquid slurry + 38 days: 69 urea/NH4	+ 144 days: 18.8 NO3/37.2 NH4 + 205 days: 9.4 NO3/18.6 NH4	+ 0 days: 27 urea/NH4 + 21 days: 20 NO3/20 NH4
CR_2 (145/134.5/82.5):	- 4 days: 70 liquid slurry + 0 days: 7 NO3/14 NH4 + 37 days: 27 NO3/27 NH4	+ 2 days: 52.5 liquid slurry + 152 days: 9.3 NO3/18.7 NH4 + 195 days: 27 NO3/27 NH4	- 3 days: 52.5 liqu. slurry + 0 days: 30 NH4
CR_3 (119/77/40):	- 4 days: 50 liquid slurry + 38 days: 69 urea/NH4	+ 144 days: 17.3 NO3/34.7 NH4 + 205 days: 8.3 NO3/16.7 NH4	- 20 days: 20 liqu. slurry + 0 days: 20 urea/NH4
CR_W (107/99/60):	- 4 days: 50 liquid slurry + 38 days: 57 liquid slurry	+ 144 days: 24.5 NO3/24.5 NH4 + 205 days: 50 liquid slurry	- 20 days: 40 liqu. slurry + 21 days: 10 NO3/10 NH4
<b>Maize single-crop farming</b>			
MZ_M/O (139):	- 4 days: 70 liquid slurry + 38 days: 69 urea/NH4	M/O = mineral and organic fertilisation	
MZ_O (139):	- 4 days: 70 liquid slurry + 38 days: 69 liquid slurry	O = organic fertilisation only	
MZ_M/O (110):	- 4 days: 50 liquid slurry + 38 days: 60 urea/NH4	M/O = mineral and organic fertilisation	

## Results of Scenario Simulations

Results of soil water drainage (SWD), nitrogen (N) uptake and leaching and yield for the main soil types with large areas covering the model area are shown in table 2 and 3; (s = soil of shallow depth up to 30 cm, m = soil of intermediate depth with 31 to 70 cm, d = soil of deep depths with more than 70 cm, mostly 1 m deep). Soils in the Leibnitzer Feld L04\_d, W03\_d, W04\_d, W09\_d, L03\_m are classified as Dystric Fluvisols and are located in the valley or river meadow area; L15\_d, L21\_d, W09\_d, W18\_d, W20\_d, L16\_s and W16\_m are named Dystric Cambisols in the lower and upper river terrace. The soil type L03\_m was taken to show another soil of intermediate depth. All soils of the Unteres Murtal, except MW05A, are Dystric Cambisols on the lower river terrace; MW05A in the river meadow consists of a sandy and sandy-silty material.

### Soil water drainage

Soils of deep depth show lower SWD amounts than soils up to 30 and 70 cm, as the values in tables 2 and 3 show. We can clearly see that the amount and type of fertiliser does not affect SWD. Amounts of seepage water are very similar for these three crop rotations, whereas under CR\_W the lowest values for all soil types can be found. Comparing the two research areas, soils of the Unteres Murtal have much lower SWD amounts than soils of the Leibnitzer Feld, although the same weather data was used for soils of the Mureck area (all M soils); soil types R12\_m, R13\_d and R14\_d are situated in the Radkersburg area, and weather data of the Bad Radkersburg station was taken where lower precipitation amounts occur.

**Table 2:** Results of three scenarios for selected soil types of the Leibnitzer Feld (means for the period 1998-2005); Ergebnisse dreier Szenarien für ausgewählte Bodentypen des Leibnitzer Feldes (Mittelwerte für den Zeitraum 1998-2005); SWD = soil water drainage/Sickerwassermenge; N = Nitrogen/Stickstoff

Soil type	CR_1 (139/84/67)				CR_3 (119/77/40)				CR_W (107/99/60)			
	SWD [mm/a]	N up-take [kg/ha/a]	N leached [kg/ha/a]	Maize yield [kg/ha/a]	SWD [mm/a]	N up-take [kg/ha/a]	N leached [kg/ha/a]	Maize yield [kg/ha/a]	SWD [mm/a]	N up-take [kg/ha/a]	N leached [kg/ha/a]	Maize yield [kg/ha/a]
L04_d	336	141	77	9179	336	137	64	9092	331	121	75	8224
L15_d	356	102	77	6993	358	99	64	6917	349	82	77	5392
L21_d	333	121	62	8330	334	116	50	8175	326	101	61	7075
W03_d	348	112	79	7323	348	108	66	7241	340	90	81	5718
W04_d	343	110	68	7667	352	105	57	8487	342	92	68	7739
W09_d	337	110	59	7729	338	107	46	7149	331	91	57	6209
W18_d	343	115	63	7941	346	110	51	7811	337	96	61	6515
W20_d	343	130	58	8515	344	125	46	8409	334	110	53	7549
L16_s	382	86	85	5322	382	78	62	4978	378	64	88	3441
W16_m	364	104	94	6881	363	103	79	6828	355	85	93	5264
L03_m	357	80	54	5558	355	77	40	5463	346	62	55	3589
<b>Mean values</b>	<b>349</b>	<b>110</b>	<b>71</b>	<b>7403</b>	<b>351</b>	<b>106</b>	<b>57</b>	<b>7323</b>	<b>343</b>	<b>90</b>	<b>70</b>	<b>6065</b>
<b>MV (d soils)</b>	<b>342</b>	<b>117</b>	<b>68</b>	<b>7960</b>	<b>344</b>	<b>113</b>	<b>55</b>	<b>7910</b>	<b>336</b>	<b>98</b>	<b>67</b>	<b>6803</b>
<b>MV (m and s soils)</b>	<b>368</b>	<b>90</b>	<b>78</b>	<b>5920</b>	<b>367</b>	<b>86</b>	<b>60</b>	<b>5756</b>	<b>360</b>	<b>70</b>	<b>79</b>	<b>4098</b>

**Table 3:** Results of three scenarios for selected soil types of the Unteres Murtal (means for the period 1998-2005); Ergebnisse dreier Szenarien für ausgewählte Bodentypen des Unteren Murtals (Mittelwerte für den Zeitraum 1998-2005); SWD = soil water drainage/Sickerwassermenge; N = Nitrogen/Stickstoff

Soil type	CR_1 (139/84/67)				CR_3 (119/77/40)				CR_W (107/99/60)			
	SWD [mm/a]	N up-take [kg/ha/a]	N leached [kg/ha/a]	Maize yield [kg/ha/a]	SWD [mm/a]	N up-take [kg/ha/a]	N leached [kg/ha/a]	Maize yield [kg/ha/a]	SWD [mm/a]	N up-take [kg/ha/a]	N leached [kg/ha/a]	Maize yield [kg/ha/a]
M09_m	275	109	89	6781	278	105	76	6705	260	85	89	4919
M10_d	256	115	68	7618	257	112	55	7521	247	94	66	6341
M12_d	234	160	52	9441	226	158	37	9124	242	146	45	9270
M13_d	253	116	42	7956	251	121	34	4772	232	98	40	5500
M14_d	250	120	55	8087	251	115	43	7911	230	103	53	6884
M15_d	180	141	41	8572	181	133	31	8441	180	122	36	7994
MW05 A_m	254	92	87	5907	267	95	71	5899	249	76	88	4067
R12_m	204	101	66	5722	207	96	54	5573	197	79	70	4704
R13_d	176	95	62	5757	199	103	43	6344	176	81	58	5205
R14_d	141	129	29	7836	175	129	21	8085	136	114	25	7341
<b>Mean values</b>	<b>222</b>	<b>118</b>	<b>59</b>	<b>7368</b>	<b>229</b>	<b>117</b>	<b>47</b>	<b>7038</b>	<b>215</b>	<b>100</b>	<b>57</b>	<b>6223</b>
<b>MV (d soils)</b>	<b>213</b>	<b>125</b>	<b>50</b>	<b>7368</b>	<b>220</b>	<b>124</b>	<b>38</b>	<b>7037</b>	<b>206</b>	<b>108</b>	<b>46</b>	<b>6222</b>
<b>MV (m soils)</b>	<b>244</b>	<b>100</b>	<b>81</b>	<b>6137</b>	<b>251</b>	<b>99</b>	<b>67</b>	<b>6059</b>	<b>235</b>	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>4563</b>



## Nitrogen leached

Highest nitrogen values are leached at the soil of shallow depth, L16\_s, as well as at soils of intermediate depth W16\_m, M09\_m and MW05A\_m when the fertilisation amounts of CR\_1 and CR\_W are applied. At soils of deep depths, leaching is much lower but can still reach 80 kg/ha/a, see soil W03\_d. Mean values indicate that most nitrogen is leached at scenario CR\_1 for all soils and soils of deep depths and at CR\_W for soils of shallow and intermediate depths.

## Fertilisation, nitrogen uptake and yield

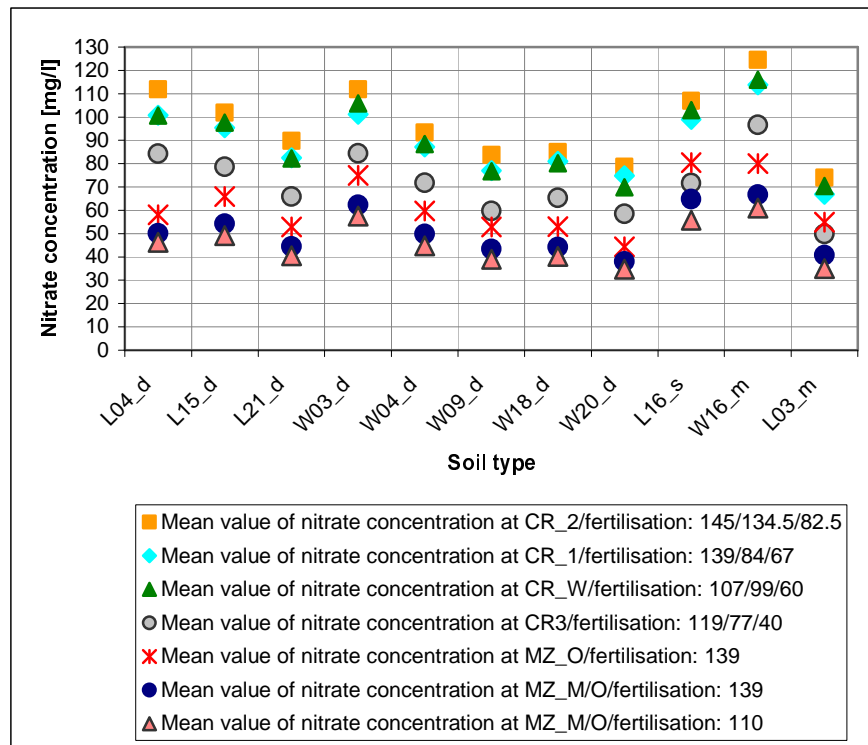
Looking at the N uptake, we can see that values at CR\_3 are only 4 kg/ha lower than at CR\_1 in the Leibnitzer Feld and only 1 kg/ha in the Unteres Murtal. Yield of maize is almost the same for these two variants for soils of deep depth in the Leibnitzer Feld whereas there is a higher difference of yield between CR\_1 and CR\_3 in the Unteres Murtal; only at soils of intermediate and shallow depths are yield amounts noticeable lower at CR\_3 compared to CR\_1. The lowest yield is achieved at fertilisation of CR\_W; also the uptake rates are very low.

An amount of 145 kgN/ha/a leads to very high yield, but also nitrogen leaching and nitrate concentration in the soil water drainage are highest. Maize shows a better development and yield if cropped in rotation than in single-crop farming when the same fertilisation amounts are applied (not listed in the tables). Organic manure (liquid slurry) is significantly less efficient compared to the mineral/organic fertilisation variant. Looking at the results of soils of deep depths and intermediate/shallow depths, we find a big difference for both maize and winter barley: yield is considerably higher on soils of deep depths. Yield amounts do not differ noticeably for oil squash on soils of deep, intermediate or shallow depths nor when fertilisation is reduced from 67 to 40 kg. The simulated yields should not be seen as absolute values or real yield as the crop parameters may slightly differ and are, due to the lack of data, only partly adjusted to the ones grown in our region. Real yield is higher than simulated by CropSyst, especially at winter barley. Nevertheless, the results can be compared in relation to each other: fertilisation of winter barley with 134.5 kgN does not raise yield and yield is even higher at a fertilisation of 84 kgN than at 99 kgN. When only 77 kgN are applied to decrease nitrogen leaching, yield is reduced considerably.

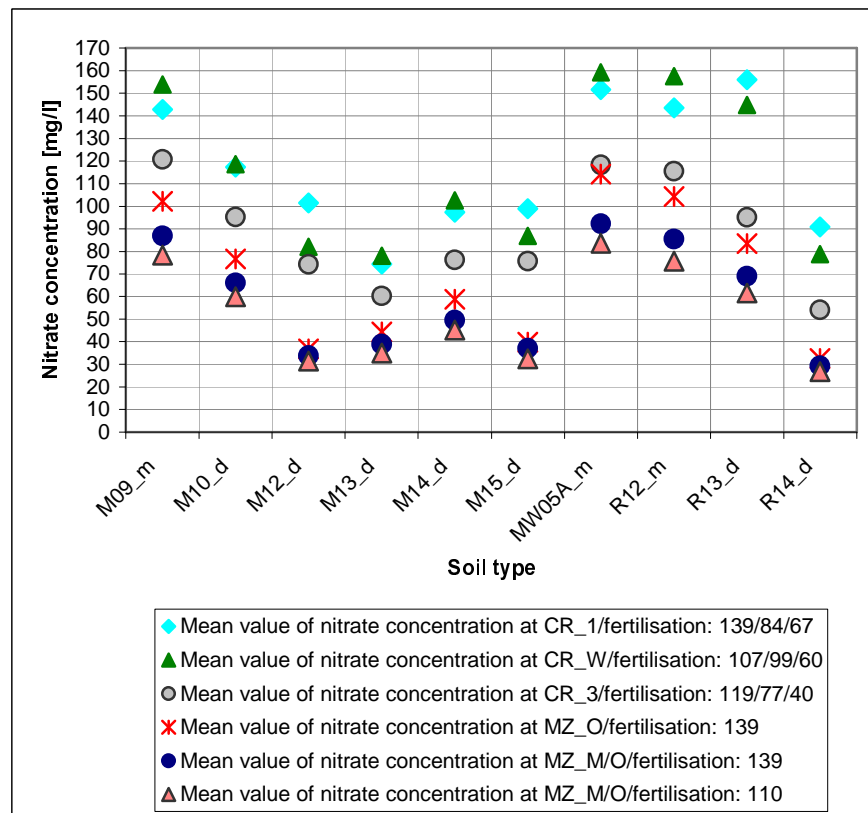
## Nitrate concentration in soil water drainage

Mean values of nitrate concentration for the simulated scenarios listed in table 1 were calculated by multiplying the amount of N leached (in kg/ha/a) by 443 and then dividing by the amount of SWD. The charts in Fig. 1 and 2 present nitrate concentrations for seven scenarios: all fertilisation amounts of the crop rotation cultivation systems lead to much higher nitrate concentrations in the seepage water than the maize single-crop farming scenarios. None of the crop rotations can reach a level lower than the threshold value of 50 mg/l NO<sub>3</sub> for groundwater. A reduction in CR\_3 from 119 to 107 kgN/ha/a does not affect the leaching amounts.

Also maize single-crop farming with 139 kgN/ha/a organic manure (liquid slurry) does not reduce the nitrate concentration below the threshold value everywhere; only at soil type W20\_d in the Leibnitzer Feld and soils M12\_d, M13\_d, M15\_d and R14\_d in the Unteres Murtal, concentrations of 45 mg/l NO<sub>3</sub> and less are simulated. CropSyst estimates less nitrogen leaching, when 139 kgN/ha/a of mineral and organic fertilisation is applied: at seven soil types in the Leibnitzer Feld and five soil types in the Unteres Murtal, the concentration is less than or exactly 50 mg/l; R14\_d shows only 29 mg/l. The best results are achieved by simulating maize with 110 kgN/ha/a of mineral and organic fertilisers applied. Most soils of deep depths have a nitrate concentration below 50 mg/l; for nine soil types, the amount is even less than 40 mg/l. However, an amount of 110 kgN/ha/a is not allowed for most soils of shallow or intermediate depths, as results of soil types L16\_s, W16\_m, M09\_m, MW05A\_m, R12\_m indicate. Even one soil of deep depth in the Leibnitzer Feld and two in the Unteres Murtal show higher nitrate concentrations.



**Fig. 1:** Comparison of nitrate concentration of four crop rotation variants and three maize single-crop farming variants for several soils of the Leibnitzer Feld (means for the period 1998-2005); Nitratkonzentration von vier Fruchtfolge- und drei Maismonokulturvarianten für einige Böden des Leibnitzer Feldes.



**Fig. 2:** Comparison of nitrate concentration of four crop rotation variants and three maize single-crop farming variants for several soils of the Unteres Murtal (means for the period 1998-2005); Nitratkonzentrationen von vier Fruchtfolge- und drei Maismonokulturvarianten für einige Böden des Unteren Murtals.

## Discussion and Conclusion

Compared to results from STOTRASIM, see KUPFERSBERGER 2007, CropSyst simulates higher nitrogen (N) leaching amounts for the same amount of organic manure than for mineral fertilisation. Nevertheless, CropSyst is capable of simulating soil water drainage (SWD) and N leaching for the entire research area for comparing various scenarios with each other.

Several variants of maize single-crop farming were also discussed by LANTHALER, FANK and KUPFERSBERGER 2007: after simulating fertilisation applications at the Wagna research field, it can be concluded that 145 kgN/ha/a of mineral fertilisation leads to a concentration of 44 mg/l but has to be reduced to about 100 kgN/ha/a for soils of shallow depths. Fertilisation amounts of 120 to 140 kgN/ha/a are allowed according to a regulation for water protection areas.

Applying fertilisation management of scenario CR\_3, N leaching can be reduced for all soils by 11 to 23 kg/ha/a, the average is around 12 to 14 kg reduction for soils of deep depth, and 14 to 18 at shallow and intermediate depth, compared to CR\_1. Fertilisers at CR\_3 are more effective because at much lower fertilisation amounts, N uptake is only slightly lower than at CR\_1. At the same time, yield of maize is almost the same for these two variants for soils of deep depth in the Leibnitzer Feld; differences are higher in the Unteres Murtal. An increased fertilisation does not necessarily lead to higher yield as the fertilisation dates and compounds of the fertilisers influence crop growth. Maize yield is lowest when 107 kgN are applied but differences of the amounts are negligible for 119 and 139 kgN fertilisation. The only maize single-crop farming variant with 110 kgN/ha/a is groundwater protective (< 50 mg/l NO<sub>3</sub>) for most soils; yield is slightly higher than maize in crop-rotation and 107 kgN/ha/a applied.

## References

- FANK, J. et al., 1994: Grundwassermodell "Unteres Murtal" – Grundlagenerhebung. Unveröff. Bericht des JOANNEUM RESEARCH, Institut für Hydrogeologie und Geothermie, Graz, p. 59
- FANK, J., 1999: Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich); The Role of the Unsaturated Zone for Groundwater Recharge and Nitrate Leaching to Groundwater in Quaternary Porous Aquifer Systems illustrated in the 'Leibnitzer Feld' (Styria, Austria). Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50, Graz, pp. 101-388
- FASTL, G. and J. ROBIER: Der Großparzellenversuch Wagna und dessen Bewirtschaftung (1987-2003). In: Proceedings of the conference "Diffuse Inputs into the Groundwater: Monitoring – Modelling – Management", 29<sup>th</sup> to 31<sup>st</sup> of January 2007, Graz
- FEICHTINGER, F. (2007): Regional Application of STOTRASIM for Modelling of Water and Nitrogen Dynamics in the Unsaturated Zone. In: Proceedings of the conference "Diffuse Inputs into the Groundwater: Monitoring – Modelling – Management", 29<sup>th</sup> to 31<sup>st</sup> of January 2007, Graz
- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft m.b.H., n.d.: Antragsformular zur „Richtlinie zur Förderung von nichtbetrieblichen F&E-Projekten“ (im Rahmen der EU-Regionalförderung). – Name des Antragstellers JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft m.b.H. vertreten durch: Hon.-Prof. Dr. Bernhard Pelzl, Mag Edmund Müller, Verantw. Projektleiter: Univ. Doz. Dr. Johann FANK, p. 31
- KUPFERSBERGER, H. (2007): Modellierung des Stickstoffaustrags aus der ungesättigten Zone am Versuchsfeld Wagna. In: Proceedings of the conference "Diffuse Inputs into the Groundwater: Monitoring – Modelling – Management", 29<sup>th</sup> to 31<sup>st</sup> of January 2007, Graz
- LANTHALER, CH., J. FANK and H. KUPFERSBERGER (2007): Erarbeitung grundwasserverträglicher ackerbaulicher Bewirtschaftungsformen auf Basis von Langzeit-Modellierungen. – In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning (Hrsg.), Bericht über die 12. Lysimetertagung (in press)
- STÖCKLE, C. O. and R. NELSON, 1994: Cropping Systems Simulation Model, User's Manual. – Washington State University, Biological Systems Engineering Department, p. 235
- <http://www.bsye.wsu.edu/cropsyst/> (December 2006): CropSyst Suite (page maintained by Roger Nelson, Created Apr. 25, 2003)
- WAKONIGG, H., 1978: Witterung und Klima in der Steiermark. Verlag für die Technische Universität, Graz, Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz, p. 473

# Scenarios of Climate Change for Southern and Eastern Styria and Potential Impacts on Agriculture and Water Availability

A. Gobiet/H. Truhetz

Wegener Center for Climate and Global Change, University of Graz, Leechgasse 25, 8010 Graz, Austria

## Summary

First results of a high resolution climate change simulation for the greater Alpine region and for south-eastern Styria are presented. The scenario projects, beside other meteorological parameters, temperature and precipitation for the 2040s compared to the reference decade 1980s. Temperature is projected to increase by 2.2 K with higher values in summer and autumn and lower values in winter. Precipitation change is strongly dependent on region and season, higher amounts are expected in winter and smaller amounts in summer and autumn. The scenario also includes further parameters like humidity, radiation and wind which are available for climate impact research.

## 1 Introduction

Global general circulation models (GCMs) are capable to describe the large scale (global to “continental” scale) characteristics of the global climate system and its future evolution reasonably well (e.g., IPCC, 2001) but they don’t provide enough spatial detail required by climate impact studies. Regional climate models (RCMs) have been increasingly applied to obtain finer resolved information by “nesting” them into the coarse GCM fields (GIORGI and BATES, 1989; GIORGI and MEARNs, 1999; WANG et al., 2004). The key mechanisms of this technique, also referred to as dynamical downscaling, are, one hand, to add regional climate forcings (e.g., complex orography, detailed land-sea distribution, land use patterns) that are not available to GCMs as additional information to the system, and, on the other hand, to explicitly simulate fine-scale dynamics of the atmosphere. In large projects like PRUDENCE (CHRISTENSEN et al., 2006) and its successor ENSEMBLES (HEWITT and GRIGGS, 2004) climate scenarios for the 21st century at 25 to 50 km horizontal grid spacing are currently created. Still, this resolution is too coarse for the needs of most climate impact studies which usually focus on the local scale, particularly in the complex Alpine region. The Austrian project "Research for Climate Protection: Model Run Evaluation" (reclip:more, LOIBL et al., 2006; <http://systemsresearch.ac.at/projects/climate/>), conducted by five Austrian research institutions (Austrian Research Centers Systems Research (ARC-sys, project coordinator), Department of Meteorology and Geophysics, Univ. of Vienna (IMG), Institute for Meteorology, Univ. of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna (BOKU-Met), Central Institute for Meteorology and Geodynamics (ZAMG), and Wegener Center for Climate and Global Change, Univ. of Graz (WegCenter), goes one step further by dynamically downscaling GCM results to a 10 km lattice in the greater Alpine region. Two RCMs, ALADIN (<http://www.cnrm.meteo.fr/aladin>) and the PSU/NCAR mesoscale model MM5 (DUDHIA et al., 2005), are evaluated and applied for this purpose. The resulting scenarios are unique by covering the entire greater Alpine region in unprecedented fine resolution and are, besides their general aim to adequately describe climate and climate change in this orographically complex area, particularly targeted to provide suitable input for climate impact research.

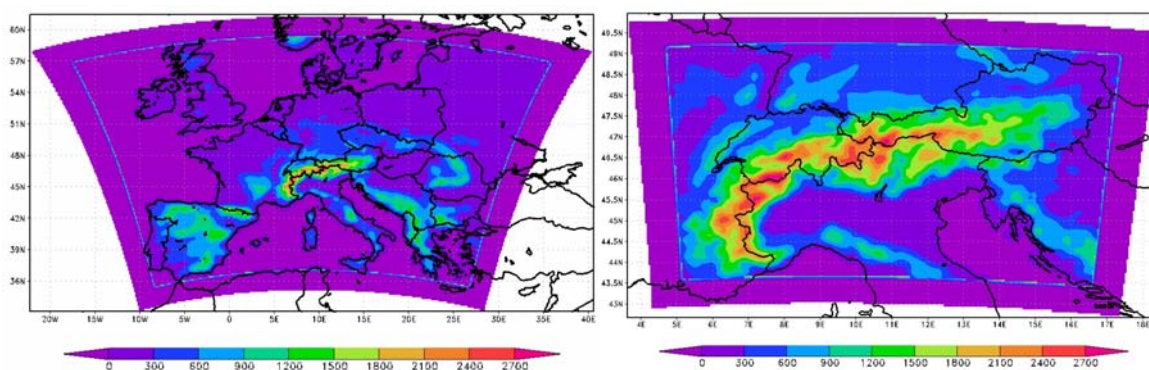
In Section 2 the creation of one of the two reclip:more high resolution climate scenarios (generated with the RCM MM5) is described. In Section 3 the scenario for the greater Alpine area, and in Section 4 for the south-eastern Styrian region is briefly presented. More detailed results for further

climatological sub-regions and first applications of this dataset in climate impact studies in the field of water supply and agriculture in south-eastern Styria will be discussed in the presentation accompanying this abstract.

## 2 Creating a high resolution climate scenario for the Alpine region

Dynamical downscaling was performed by driving a high resolution limited area model (MM5) with lateral boundary conditions from coarse global datasets (~120 km grid spacing). Three different simulations, each covering one decade, have to be performed: 1) A hindcast simulation using “perfect” LBCs from the ERA-40 reanalysis (UPPALA ET AL., 2004) of the European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) for the decade 1981 – 1990. This simulation serves to evaluate the regional model by comparison to observations. 2) A scenario simulation using LBCs from the GCM ECHAM5 (ROECKNER et al., 2003) forced by greenhouse gas concentrations based on the IS92a emission scenario (LEGGETT et al., 1992) for the decade 2041 – 2050. 3) A control simulation using LBCs from ECHAM5 forced by observed greenhouse gas concentrations for the decade 1981 – 1990. The control simulation serves for comparison with the scenario. Only differences between the control and scenario simulation are interpreted which diminishes the effect of systematic errors in the GCM.

Downscaling was performed in a to step procedure starting at the coarse resolution of the LBCs (~120 km grid spacing) via a intermediate resolution simulation (30 km) covering most of Europe to the high resolution simulation (10 km) covering the greater Alpine region. The geographical model setup is shown in Fig. 1, more details can be found in GOBIET et al. (2006).



**Fig. 1.** MM5 setup. Right panel: Model domain 1 (30 km x 30 km grid spacing). Left panel: Model domain 2 (10 km x 10 km grid spacing). The altitude above sea level is shown in colours. The transition zone where the model state is nudged to the LBCs is marked.

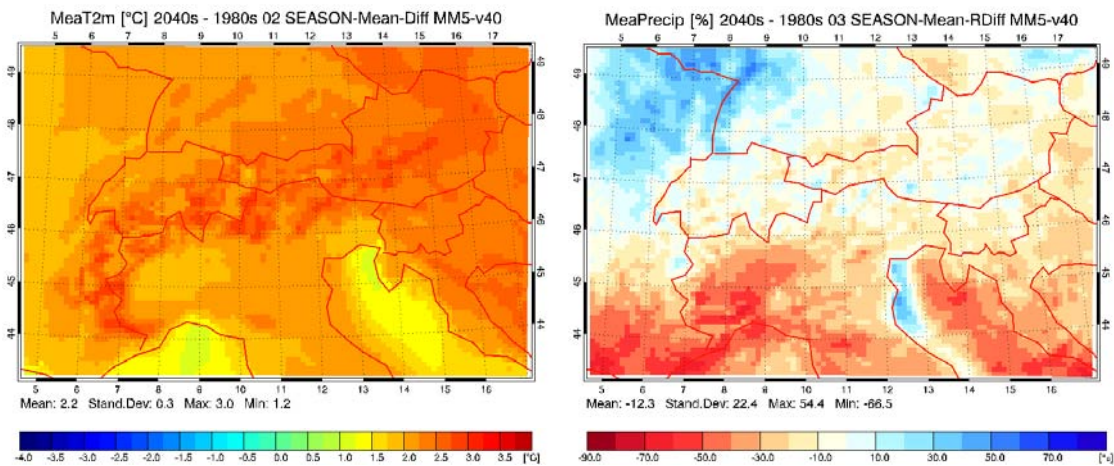
## 3 Model Evaluation and Expected Future Climate Change

The evaluation of the hindcast simulation is only briefly addressed here, more details are given in GOBIET et al. (2006). Generally, MM5 has cold bias of around -1.5 K in the greater Alpine region (domain 2 in Fig. 1) being smaller in winter and larger in summer. However, this bias is not expected to severely influence the climate change signal which is derived from the difference between the control and the scenario simulation. Precipitation is represented impressively well, showing an annual mean bias of 0.1 mm/day only, and only few severe biases when looking into regional and seasonal details.

From the comparison of the control and the scenario simulation the climate change signal can be derived which represents the expected climate change during 60 years starting in the 1980s. It has to be emphasised that this simulated climate change signal is only one single model realisation affected by many uncertainties ranging from the natural climate variability, uncertainties in the

emission scenario, and model errors in the GCM and RCM. We don't know in detail where in this uncertainty range our simulation resides and don't even know the exact width of the uncertainty range. However, for coarser simulations (50 km grid spacing) the uncertainty range of regional climate modelling over Europe has been estimated to amount 0.4 – 0.8 K in terms of standard deviation for near surface temperature and 0.21 to 0.33 mm/d for precipitation (DEQUÉ et al., 2006). While the range for temperature can be regarded as representative or even as upper boundary for the higher resolved simulation regarded here, the uncertainty values for precipitation might be higher in our case since precipitation is a highly variable parameter at fine scales.

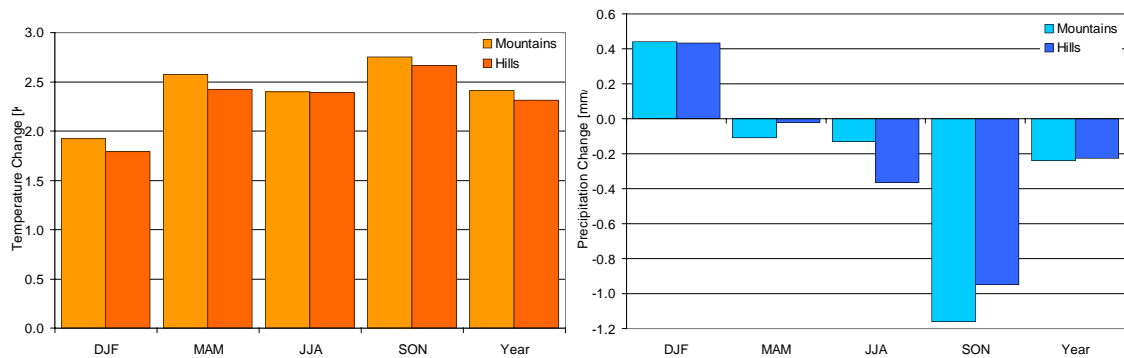
An exemplary result for projected near-surface temperature (T2m) change in spring is shown in Fig. 2 (left panel). The annual mean change over the entire region (not shown) amounts +2.2 K. Seasonally, the T2m signal increases from winter (December, January, February, DJF) (1.8 K) over spring (March, April, May, MAM) (2.2 K, see Fig. 2), and summer (June, July, August, JJA) (2.3 K), to reach its maximum in autumn (September, October, November, SON) (2.7 K). Fig. 2 (right panel) depicts the projected precipitation change for summer. The annual mean change over the entire region (not shown) is small (+4 %) but seasonally and sub-regionally large changes are projected. Over the entire area, the changes amount +7.9 % (DJF), +1.2 % (MAM), -12.3 % (JJA, Fig. 2), and -13.9 % (SON). In climatological relevant sub-regions, the changes are even larger (-30 % to +20 % depending on season and sub-region, not shown).



**Fig. 2.** Seasonal mean differences between the MM5 (domain 2) scenario (2041 to 2050) and control (1981 to 1990) simulation. Left panel: T2m change [K] in spring; right: precipitation change [%] in summer.

#### 4 Climate Change in South-Eastern Styria

The high resolution of the presented climate scenario allows for analysis in small sub-regions of the model domain. Such an analysis has been done in south-eastern Styria (districts Weiz, Hartberg, Fürstenfeld, and Feldbach) and is shown in Fig. 3. The area has been additionally subdivided into a hilly (< 600 m altitude) and mountainous (> 600 m) region. For this area, a temperature increase between 1.8 – 2.8 K is projected with slightly higher values in the mountainous region (+0.1 K). Precipitation change is seasonally highly variable with increases in winter (+0.4 mm/d, +30%) and decreases in summer and autumn (up to -1.2 mm/d, -45%). The projected annual mean is expected to slightly decrease (-0.2 mm/d, < -10%).



**Fig. 3.** Seasonal mean differences between the scenario (2041 to 2050) and control (1981 to 1990) simulation in south-eastern Styria. Left panel: T2m change [K]. Right panel: precipitation change [mm/day].

Current and future exploitation of these datasets for climate impact research focuses not only on seasonal mean temperature and precipitation changes but also aims to exploit its full potential by regarding daily values and by using further available parameters like humidity, radiation, and wind. Examples will be presented.

## References

- CHRISTENSEN, J.H., T.R. CARTER, AND M. RUMMUKAINEN (2006), Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project, *Climatic Change*, revised.
- DÉQUÉ, M., D.P. ROWELL, D. LÜTHI, F. GIORGI, J. H. CHRISTENSEN, B. ROCKEL, D. JACOB, E. KJELLSTRÖM, M. DE CASTRO, B. VAN DEN HURK (2006) An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections, *Climatic Change*, revised.
- DUDHIA, J., D. GILL, K. MANNING, W. WANG, AND C. BRUYERE (2004): PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3, Software Manual, Mesoscale and Microscale Meteorology Division of the NCAR, Boulder.
- GIORGI, F., BATES (1989), The climatological skill of a regional model over complex terrain, *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2325-2347.
- GIORGI, F., L.O. MEARNS (1999), Introduction to special section: Regional climate modeling revisited, *J. Geophys. Res.*, 6335-6352.
- GOBIET, A., H. TRUHETZ, A. RIEGLER (2006), A climate scenario for the Alpine region, reclip:more project year 3 - WegCenter progress report, Wegener Center, Univ. of Graz, Austria.
- HEWITT, C.D., D.J. GRIGGS (2004), Ensembles-Based predictions of climate changes and their impacts, *EOS*, 85, p.566.
- IPCC (2001), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- LEGGETT, J., W.J. PEPPER, AND R.J. SWART (1992), Emissions scenarios for the IPCC: an update in *Climate change 1992: the supplementary report to the IPCC scientific assessment* edited by J.T. Houghton, B.A. Callander, and S.K. Varney, pp.75-95, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- LOIBL, W., AND THE RECLIP:MORE TEAM (2006), Project reclip:more - overview: Objectives, tasks and results 2004-2005, oral presentation at 9th Austrian Day of Climate (9. Österreichischer Klimatag), Vienna.
- ROECKNER, E., G. BAEUML, L. BONAVENTURA, R. BROKOPF, M. ESCH, M. GIORGETTA, S. HAGEMANN, I. KIRCHNER, L. KORNBLUEH, E. MANZINI, A. RHODIN, U. SCHLESE, U. SCHULZWEIDA, A. TOMPKINS (2003), *The Atmospheric General Circulation Model ECHAM5. Part 1: Model Description*, Report 349, Max Planck Institute for Meteorology (MPI), Hamburg.
- UPPALA, S., P. KALLESBERG, A. HERNANDEZ, S. SAARINEN, M. FIORINO, X. LI, K. ONOGI, U. ANDREA, AND V. DA COSTA BECHTOLD (2004), ERA-40: ECMWF 45-years reanalysis of the global atmosphere and surface conditions 1957-2002, *ECMWF Newsletter*, 101, 2-21.
- WANG, Y., L.R. LEUNG, J.L. MCGREGOR, D.-K. LEE, W.-C. WANG, Y. DING, F. KIMURA (2004), Regional climate modeling: Progress, challenges, and prospects, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 82, 1599-1628.

**Block III Exkursion in die Süd- und Oststeiermark/  
Excursion to Southern and Eastern Styria**

**Ober, Josef (Steirisches Vulkanland):**

Der Wandel von der Grenzregion zum Steirischen Vulkanland

**Glanz, Franz (Wasserverband Grenzland Südost):**

Konzepte zur Sicherung der Wasserversorgung in verstreuten Siedlungsräumen und zu erwartenden Klimaänderungen



# Der Wandel von der Grenzregion zum Steirischen Vulkanland; Lebens- und Wirtschaftssystem

J. Ober

Wasserverband Wasserversorgung Grenzland Südost  
Bahnhofstraße 20 b  
A-8350 Fehring – Austria

Der bestehende Lebensstil ist geprägt von Zuvielisation in den Industrieländern und tiefster Armut in den Entwicklungsländern.

Die bestehende Nutzungsform der Erdressourcen ist verschwenderisch und extrem unökologisch. 20 Prozent der Menschen nutzen 80 Prozent aller Ressourcen. Ergebnis: Klimawandel mit unvorhersehbaren Folgen. Die Erde wird übernutzt.

Das bestehende Wirtschaftssystem der einseitigen schrankenlosen Globalisierung entwertet Menschen, Staaten und Regionen. Das Wirtschaftssystem dient nicht mehr den Menschen, sondern bestimmt die Menschen und beutet sie zum Vorteil einiger weniger aus. Entwertung und Ausbeutung stehen im Zentrum des Systems. 78 Prozent des globalen BIP liegen in 15 Prozent der Weltbevölkerung. 22 Prozent des globalen BIP liegen in 85 % der Weltbevölkerung. Wirtschaft, Politik und Medien haben diese einseitige Fokussierung auf Globalisierung als die einzig Seeligmachende verabsolutiert. Der Begriff TINA (There ist no alternative) spricht dafür und wird von der Masse mangels eigens vorstellbarer Alternativen gutiert.

Welche Umstände haben die Globalwirtschaft in den letzten Jahrzehnten so beflügelt?

- Handelserleichterungen WTO
- Gesunkene Transaktionskosten – Digitalisierung
- Hohe Lohndifferenzen
- Unterschiede in den Sozial- und Umweltstandards

Die Folgen der einseitigen schrankenlosen Globalisierung

- Verlagerung der Firmen der Produktion in Billiglohnländer
- Restrukturierung – Stellenabbau in den Industrieländern
- Hohe Arbeitslosigkeit nicht mehr konjunkturell, sondern strukturell
- Hohe Weiterbildungskosten für Bürger und Staat
- Hohe Forschungskosten
- Hohe Dropout-Rate – kommen nicht mehr mit
- Hohe Ungleichheit zwischen Kontinenten, Staaten und Regionen
- Massive Ausbeutung und Entwertung von Regionen
- Extrem hohe Umweltbelastungen
- Fördert hohe Migrationsbewegungen
- Daraus resultieren hohe soziale Spannungen
- Die Kosten der Umstrukturierung einschließlich der Umweltkosten sind nicht abschätzbar und extrem schwer bewältigbar

Die einseitige globale Produktions-, Wirtschaftsausrichtung dient einigen wenigen und kommt der Masse sehr teuer zu stehen.

## **Das heißt, das bestehend Lebens- und Wirtschaftssystem muss durch ein Zukunftsmodell abgelöst werden.**

Der politische Auftrag ist, den Wandel vom bestehenden System

- der Zuvielisation
- der Übernutzung
- der Entwertung
- der einseitigen Bereicherung

zur Mehrwertgesellschaft verantwortungsvoll zu gestalten.

### **Balance des Lebens**

Es braucht eine neue Balance des Lebens, die Menschen haben die Chance, sich vom Lebensverwalter zum Lebensgestalter weiter zu entwickeln. Denn persönliche Lebensgestaltung schafft maximale Lebensqualität, setzt jedoch ein hohes Selbstverantwortungsbewusstsein voraus. Die neue Selbstverantwortungsbewegung wird die Suche nach dem Glück (Zuvielisation) von der Suche nach dem Sinn abgelöst.

### **Balance der Ökologie**

Wir brauchen eine neue Balance der Ökologie, einen nachhaltigen ressourcenschonenden Umgang, d.h. wir müssen so Intelligent werden, dass wir mit geringsten Ressourcen- und Energieverbrauch maximale Lebensqualität schaffen. Wir brauchen eine Verfeinerung in der Technologie, die uns enorme Entwicklungsmöglichkeit bietet.

### **Balance der Wirtschaft**

Wir brauchen eine neue Balance der Wirtschaft, von Global- und Regionalwirtschaft eine abgestimmte Koexistenzwirtschaft von maximal 50 Prozent Global und minimal 50 Prozent Regional. Die Balance der neuen Wirtschaft muss geleitet sein von einer neuen Ethik und Moral des Wirtschaftens und muss allen Menschen und Regionen langfristig Chancen und Wohlstand bieten. Die Balance der neuen Wirtschaft hätte das Potenzial und die Kraft eines neuen Weltwirtschaftswunders in sich.

Es gibt zu TINA tatsächlich TARA (There are reasonable alternatives).

### **Steirisches Vulkanland**

Im Steirischen Vulkanland im Südosten Österreichs haben sich 75 Gemeinden, mit 100.000 Einwohnern zusammengeschlossen, dem gegenwärtigen Trend zu trotzen und aus ihrer Region etwas Einzigartiges zu machen. Die Frage war, wie schaffen wir den Umstieg vom derzeitigen System auf das Zukunftssystem der Mehrwertgesellschaft. Dazu brauchen wir eine ganzheitliche, langfristige, persönliche und regionale Entwicklung.

In einem langfristigen Wandelprozess wurden drei Fragen beantwortet:

1. Frage: Wo stehen wir?

Bei dieser Frage stand für uns die persönliche und regionale Inwertsetzung durch eine neue Regionsmarke im zentralen Mittelpunkt. Wir schafften es, den Menschen den Schleier von den

Augen zu nehmen, sodass sie ihre menschlichen Talente, die naturräumlichen Ressourcen sowie Schönheiten und ihr eigenes wirtschaftlichen Potenzial wieder entdeckten. Das neu entstehende Selbstbewusstsein schafft die neue Handlungsfähigkeit in der Region.

## 2. Frage: Wo wollen wir hin?

Nach dem Erkennen des eigenen Potenzials wurde ein Visionsfindungsprozess eingeleitet. Ein neues Bild der Zukunft wurde geschaffen. Die neue Lebens- und Wirtschaftsvision brachte zwei Entwicklungsfelder hervor. Lebenskompetenzentwicklung für eine neue Lebens-, Arbeits- und Wirtschaftskultur und im Bereich der Wirtschaftskompetenzentwicklung wurden die Visionen die kulinarische Region in Österreich, die europäische Handwerksregion und die Region der Lebenskraft gefunden. Damit konnten wir den Menschen vermitteln, wie wir in Zukunft leben, arbeiten und wirtschaften wollen. Denn wenn das Bild der Zukunft attraktiver ist als die Gegenwart entsteht Aktionsbereitschaft = Zukunftsfähigkeit.

Darauf folgte die dritte Frage, die sehr oft vernachlässigt wird:

## 3. Frage: Was müssen wir dafür tun?

Wir entwickeln einen langfristigen Visionstransformationsprozess, d.h. wir vermitteln den Menschen die Vision, Visionsbereiche über einen sehr langen Zeitraum (10 Jahre) über Medien, Seminare, Vorträge, Ansprachen, Workshops, Wettbewerbe, Informationen, Inspirationen, Begeisterungen, sodass die Menschen Vertrauen bekamen und daraus für sich eine neue Zukunft ableiten. Wir bereiteten den Acker auf und säten die neue Zukunft und die Bürger pflanzten Ihre Ideen und verwirklichten sich und ihre Ideen mit Begeisterung. Das heißt die Region und die Menschen mussten lernen die Anforderungen der gewünschten Zukunft in das tägliche Leben, Handeln und Wirtschaften zu integrieren. Dies löste natürlich die notwendige Innovationsbereitschaft und daraus folgende Investitionsbereitschaft aus.

## **Maximierung der Wertschöpfung in der Regionalwirtschaft**

Die bestehende Regionalwirtschaft war durch die einseitige Globalisierungsstrategie auf 25 Prozent Regionalwertschöpfungsanteil geschrumpft, was natürlich enorme Schwierigkeiten auslöste. Die Entwertung der Region war voll im Gange. Die Region konnte pro Jahr nicht mehr soviel erwirtschaften, was an regionaler Entwertung verloren ging. Durch die parallel zum Gesamtprozess gestartete Strategie der Maximierung der Wertschöpfung in der Regionalwirtschaft mit dem Ziel, die Regionalwertschöpfung von 25 Prozent auf 51 Prozent zu steigern, bringt seitdem eine Wertsteigerung um 1 Prozent.

Unsere Erkenntnis aus diesem Prozess, man muss die Region kennen und lieben, die Ursachen müssen gewandelt werden, statt die vorherrschenden Probleme zu tote zu behandeln. Dieser Wandelprozess braucht Kraft und Zeit und man darf sich von auftauchenden Schwierigkeiten und euphorischen Erfolgen nicht vom langfristigen Ziel der Schaffung einer eigenverantwortlichen, innovativen, lebenswerten Region abbringen lassen. Die politische Geschlossenheit, die sich längerfristig einstellte, die langfristige Themenkultur, ein exzellenter regionaler Expertenpool, ein mit einem Wissensmanagement unterstütztes Prozessmanagement und enormer Beharrlichkeit ist es zu danken dass wir das Beginnen so gut geschafft haben. „Die Welt tritt zur Seite, um jeden vorbeizulassen, der weiß, wohin er will.“ Es ist, trotz immer wieder auftauchender Schwierigkeiten, politisch ein schöner Zustand, nach dem jahrelangen Ringen wo die Zukunft der Region sich befinden wird, dass die Menschen ihr tägliches Leben aus dieser gewünschten Zukunft heraus gestalten können.

# Konzepte zur Sicherung der Wasserversorgung in verstreuten Siedlungsräumen und zu erwartenden Klimaänderungen

F. Glanz

Wasserversorgung Grenzland Südost  
Bahnhofstraße 20 b  
A 8350 Fehring – Austria

## Summary

In 1979 the “Wasserversorgung Grenzland Südost” has been founded to ensure water supply for the region of south eastern Styria, an area with small economic structures and scattered settlement areas. 74 members (mainly communities) are supplied with up to 170 l/s drinking water of best and certified quality.

To ensure water supply in future, taking into account an increase of the water demand due to economic and touristy development and proposed global climate change effects, the regional resources are on detailed investigation, the water pipes of all water suppliers in southern Styria has been networked and a project to build up the water conduit “Oststeiermark” has been started. After a construction period of 3 years 200 l/s of potable water will be transported from Graz to the region of eastern Styria to ensure water supply of the inhabitants in dry periods.

The “Wasserversorgung Grenzland Südost” will be furthermore a partner in different scientific projects to implement the state of the art of water resources management. Actually it is business partner in the competence network of Water Resources Management to increase know how to ensure the availability of regional water resources for future demands.

## Die Verbandsstruktur

Die Wasserversorgung Grenzland Südost wurde im Jahre 1979 von damals 40 Gemeinden mit dem Ziel gegründet, die zukünftige Wasserversorgung im Wassermangelgebiet der Region des südoststeirischen Hügellandes sicherzustellen. Die Südoststeiermark ist eine vorwiegend ländlich und agrarisch klein strukturierte Region mit weit verstreuten Siedlungsräumen.

Die Verbandsgründung erfolgte anhand des Wissensstandes über Dargebote und Abnahmebedürfnisse zufolge der Erhebungen der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung des Landes. Diese ergaben, dass die hydrogeologischen Verhältnisse der Südoststeiermark für die Abdeckung der erhobenen Bedarfswerte nicht ausreichen, darüber hinaus die Fischbacher Alpen und der diesen südlich vorgelagerten Gebiete ebenfalls nicht über die entsprechenden Wassermengen verfügen, sodass schließlich das Grundwasserfeld des Unteren Murtales dem Versorgungsbereich der Südoststeiermark zugeordnet wurde.

In ihrer Rechtsform stellt die Wasserversorgung Grenzland Südost einen Wasserverband nach dem Wasserrechtsgesetz und somit eine Körperschaft öffentlichen Rechtes dar. Die Mitgliedsgemeinden sind im Verhältnis ihrer Einwohnerzahl gemeinsame Eigentümer des Unternehmens.

Unternehmenszweck sowie Rechte und Pflichten der Mitglieder sind in den Satzungen geregelt, welche von der Wasserrechtsbehörde als Aufsichtsbehörde zu genehmigen sind.

Mittlerweile gehören bereits 74 Mitglieder (davon 72 Gemeinden und 2 Wasserverbände) mit mehr als 110.000 Einwohnern aus den 6 politischen Bezirken Radkersburg, Feldbach, Fürstenfeld, Weiz, Hartberg und Graz-Umgebung dem Unternehmen an.

## Die Infrastruktur

Zur Versorgung der Mitgliedsgemeinden wurde in den letzten 25 Jahren nachstehende Infrastruktur errichtet.

- 270 km Transportleitungen, Nennweite 150 bis 500 mm
- 4 artesische Tiefenbrunnen in der Oststeiermark
- 8 seichtliegende Porengrundwasserbrunnen im Unteren Murtal
- 9 Hochbehälter mit einem Nutzinhalt von 10,5 Mio. Liter
- 26 Drucksteigerungsanlagen

Die Überwachung und Steuerung der gesamten Anlage erfolgt mittels einer dem modernsten Stand der Technik entsprechenden Funkfernwirkanlage. Alle Brunnen, Hochbehälter und Pumpwerke werden vom Unternehmenssitz in Fehring aus bedient und gesteuert.

Seitens der Wasserversorgung Grenzland Südost wird das Wasser an die Mitgliedsgemeinden an einem Übergabeschacht übergeben. Von hier aus ist die jeweilige Gemeinde für die Verteilung verantwortlich und auch vollkommen autonom in der Gestaltung ihrer Abgabepreise sowie der Anschlussgebühren für die Gemeindebewohner.

## Finanzierung

Die Finanzierung der Verbandsanlagen mit einem Investitionsvolumen von rd. € 35 Mio. erfolgte mit nicht rückzahlbaren Beiträgen des Landes Steiermark, Darlehen des Landes Steiermark, langfristigen Darlehen des Bundes (Wasserwirtschaftsfonds) sowie mit erheblichen Eigenmitteln der Mitgliedsgemeinden.

Parallel dazu haben die Mitgliedsgemeinden ihre kommunalen Ortsnetze zur Versorgung der Bevölkerung auf eigene Kosten mit einem Investitionsvolumen von rd. € 70 Mio. errichtet. Von den ca. 110.000 Einwohnern in allen Mitgliedsgemeinden werden derzeit ca. 60.000 Einwohner aus den öffentlichen Wasserversorgungsanlagen der Gemeinden mit Trink- und Nutzwasser versorgt.

Ein Drittel aller Mitgliedsgemeinden hat bereits vor der Verbandsgründung eine kommunale Wasserversorgung mit eigenen Brunnen betrieben. In diesen Gemeinden wird nur die Fehlmenge zugespeist. Die restlichen Gemeinden beziehen ihr Wasser ausschließlich von der Wasserversorgung Grenzland Südost.

Der Wasserabgabepreis an die Mitglieder beträgt derzeit € 1,13 zzgl. Mwst. je Kubikmeter. Der Abgabepreis der Gemeinden an ihre Bürger bewegt sich zwischen € 1,- und € 1,60 je Kubikmeter. Die jährliche Annuität für die Rückzahlung der Darlehen aus der Errichtung der Anlagen beträgt ca. € 680.000,-. Aus wirtschaftlicher Sicht kann festgestellt werden, dass erst nach einem Zeitraum des Betriebes der Anlage von 25 Jahren eine erstmalige Kostendeckung gegeben war.

Parallel zum Hauptbetätigungsfeld – der Sicherstellung der Trinkwasserversorgung für die Mitgliedsgemeinden – ist die Wasserversorgung Grenzland Südost zur wirtschaftlichen Absicherung des Unternehmens auch im gewerblichen Bereich tätig. Das Unternehmen verfügt über die Konzessionen für das Wasserleitungsinstallationsgewerbe und das Elektrotechnikgewerbe. Wir haben uns mit diesem Betätigungsfeld als Kompetenzzentrum für Siedlungswasserwirtschaft in der Region erfolgreich positioniert.

## Wasserressourcen und Wasserqualität

An Wasserressourcen stehen derzeit aus eigenen Vorkommen im Optimalfall ca. 100 l/s zur Verfügung. Zusammen mit den Ressourcen der Partner resultiert eine maximale Konsensmenge von ca. 170 l/s. Die Jahreswasserabgabe an die Mitglieder beträgt derzeit ca. 2.000.000 m<sup>3</sup> bzw. 60 l/s im Jahr. Zur Abdeckung des Spitzenbedarfes in Trockenzeiten ist den Gemeinden kurzfristig mehr als die doppelte Menge (ca. 140 l/s) zu liefern bzw. bereitzustellen. Zur Abdeckung der

stündlichen Spitzen ist die 4-fache Menge des durchschnittlichen Jahresverbrauches zur Verfügung zu stellen.

Die Wasserqualität des von uns gelieferten Wassers entspricht den Anforderungen der Trinkwasserverordnung 2001, wobei uns die Nitratbelastung der Wässer in Folge der Stickstoffbelastung in den landwirtschaftlich genutzten Brunneneinzugsgebieten sehr wohl große Sorgen bereitet. Sämtliche Wasserspender werden in regelmäßigen Abständen von autorisierten Labors überprüft; die jeweils aktuellen Befunde werden für alle Mitgliedsgemeinden auch über das Internet verfügbar gemacht.

Die Tendenz in der Wasserabgabe ist steigend, da in vielen Gemeinden - hier vor allem in den ländlich strukturierten Streusiedlungen - die Ausbau- und Anschlusstätigkeit unvermindert anhält. Zum einen sind hierfür Trockenperioden (Anfang der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts und 2002/2003) verantwortlich. Viele Hausbrunnen sind versiegt und viele klein strukturierte Genossenschaften konnten ihre Versorgung nicht mehr aufrechterhalten. Auch viele kommunale artesischen Brunnen der Mitgliedsgemeinden haben auf Grund ihres Alters bzw. des Ausbaustandes an Schüttung nachgelassen.

Auch die Diskussionen über einen Klimawandel haben die Gemeinden zu einer vorsorglichen Politik (rechtzeitige Konzept- und Projektstellung) in der Sicherung der Wasserversorgung in den Kommunen bewegt. Viele Bürgermeister berichten, nicht noch einmal in so eine Situation wie in den Jahren 2002 und 2003 kommen zu wollen. Die Klimaforschung der letzten Jahre hat klarer denn je gezeigt, dass die Erde Fieber hat und ein Klimawandel unausweichlich im Gange ist, was uns vor eine völlig neue Herausforderung im 21. Jahrhundert stellt. Nach Meinung führender Wissenschaftler werden die nächsten 10 bis 30 Jahre entscheidend sein. Auch darauf müssen wir uns als Wasserversorger einstellen.

Einen weiteren positiven Beitrag zu dieser Entwicklung einer anhaltenden Ausbautätigkeit in den Gemeinden leistet natürlich auch die gute wirtschaftliche und touristische Entwicklung in unserer Region. Jedenfalls steigt der Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung ständig und wird somit auch ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Volksgesundheit geleistet.

Im letzten Jahrzehnt ist der Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung im Durchschnitt der Gemeinden von 40 auf 60 % gestiegen. Für die nächsten 10 bis 15 Jahre ist nach unseren Schätzungen mit einem Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung von ca. 80 % zu rechnen.

## **Konzepte zur künftigen Sicherung der Trinkwasserversorgung**

Was ist für die Wasserversorgung Grenzland Südost zu tun, damit dieser Entwicklung Rechnung getragen werden kann? Wie kann die Versorgungssicherheit auch in Zukunft aufrecht erhalten werden? Die erforderlichen Maßnahmen können in 3 Bereiche gegliedert werden:

- Zur Abdeckung des Spitzenbedarfes bzw. zur Erhöhung der Versorgungssicherheit für die angeschlossenen Gemeinden werden die bestehenden eigenen Ressourcen saniert bzw. dem Stand der Technik angepasst. Parallel dazu werden im Bedarfsfall die notwendigen Wassermengen von verschiedenen Vertragspartnern zugekauft. Hier wurden seitens der Wasserversorgung Grenzland Südost bereits alle derzeit sich bietenden Möglichkeiten ausgeschöpft.
- Im Rahmen des Wasserversorgungsplanes Steiermark wurde in den letzten Jahren das Wassernetzwerk Südoststeiermark konsequent umgesetzt. Diese Vernetzung der einzelnen Wasserversorger ermöglicht die Aufrechterhaltung in Hitze- und Trockenperioden sowie bei anderen Notfällen und hat sich in den Jahren 2002 und 2003 bereits bestens bewährt. Auch diese Maßnahmen, die die Versorgungssicherheit mit lokalen Ressourcen bewerkstelligen sollen, sind mehr oder weniger bereits vollständig umgesetzt. Mit der Errichtung der Trinkwassernotversorgung Plabutsch im Rahmen der Errichtung der zweiten Plabutsch - Tunnelröhre 2003 wurde ebenfalls ein Meilenstein zu einem möglichen Trinkwasseraustausch vom wasserreichen Norden der Steiermark in den

wasserarmen Bereich der Südoststeiermark gesetzt. Dieses Projekt stellt ebenfalls eine gelungene Kooperation der Mitglieder des Steirischen Wasserversorgungsverbandes (Dachorganisation der Steirischen Wasserversorgungsunternehmen) dar.

- Im Zuge der Erarbeitung des Wasserversorgungsplanes Steiermark Ende der neunziger Jahre wurde auch die Vision einer Transportleitung Oststeiermark geboren. Dieses Projekt soll eine endgültige Absicherung der zukünftigen Erfordernisse der Region der Südoststeiermark bewirken.

Darauf folgende Variantenstudien und auch wissenschaftliche Untersuchungen haben die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit dieses Projektes zu einer dauerhaften Sicherung der Wasserversorgung der Region unterstrichen. Über die Abschätzung der Folgen von Wasserknappheit für die Entwicklungspotenziale der Steirischen Thermenregion ist zu lesen: „Wenn es auf Grund von Wasserengpässen für zwei Wochen zu einem Produktionsausfall bzw. einem Ausbleiben von Gästenächtigungen kommen würde, ergibt dies einen ökonomischen Schaden von € 40 Mio., der Umsatz würde um € 105 Mio. zurückgehen“ (DALLA-VIA et al., 2005).

Über Initiative der Wasserversorgung Grenzland Südost wurde zur Umsetzung der genannten Vision mit veranschlagten Kosten von € 15 Mio. der Wasserverband Transportleitung Oststeiermark gegründet. Alle maßgeblichen Wasserverbände, Stadtgemeinden und Stadtwerke der Region sind diesem Verband beigetreten. Eine 60 km lange Transportleitung von Graz über Gleisdorf bis nach Hartberg mit einer Kapazität von 200 l/s wird errichtet werden.

Die wasserrechtliche Bewilligung der Anlage erfolgte im Frühjahr 2006. Derzeit ist die Detailplanung im Gange und die Ausschreibung des Bauvorhabens wird noch 2007 erfolgen. Es ist mit einer Bauzeit von knapp 3 Jahren zu rechnen. Die Verwirklichung des Bauvorhabens kann Dank einer Sonderförderung des Landes Steiermark realisiert werden.

Die Wasserressourcen für die Transportleitung Oststeiermark konnten für die erste Phase in einem Ausmaß von 100 l/s durch eine Liefervereinbarung mit der Grazer Stadtwerke AG abgedeckt werden. Darüber hinausgehende Mengen können in Zukunft auch aus dem obersteirischen Raum abgedeckt werden. Die technischen Voraussetzungen hierfür sind jedenfalls bereits geschaffen.

Aber auch die Errichtung dieser Trinkwassernotversorgung soll am Grundsatz einer bestmöglichen Versorgung aus Vorkommen in der Region nichts ändern. Deshalb gilt es, diese bestehenden Ressourcen bestmöglich zu schützen und schonend zu bewirtschaften.

## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit den oben geschilderten Maßnahmen ist die Wasserversorgung Grenzland Südost zuversichtlich, den zukünftigen Erfordernissen Rechnung tragen zu können. Wichtig ist eine rechtzeitige und vorausschauende Unternehmenspolitik. Natürlich kostet diese Versorgungssicherheit auch viel Geld. Hier ist auch ein klares Bekenntnis der politischen Verantwortungsträger in den Gemeinden und auf Landesebene zu einem kostendeckenden Wasserpreis notwendig.

Neben den vielfältigen Aufgaben im Versorgungsbereich ist es uns auch ein Anliegen, laufend an verschiedenen wissenschaftlichen Forschungsprojekten als Partner mitzuwirken. Am mehrjährigen Projekt „Kompetenznetzwerk Wasserressourcen Management“ nehmen wir als Wirtschaftspartner teil. Der daraus gewonnene Kompetenzaufbau wird uns in der Zukunft auch hinsichtlich der Sicherstellung der Ressourcen in qualitativer und quantitativer Hinsicht helfen.

## Literatur

DALLA-VIA, A., G. DOMBERGER, J. FANK, R. KURZMANN, CH. TÖGLHOFER, G. ZAKARIAS, F. PRETTENTHALER (2005): Synthesebericht Wasserbedarf Oststeiermark. Unveröff. Bericht, Institut für Technologie- und Regionalpolitik & Institut für WasserRessourcenManagement – Hydrogeologie und Geophysik, JOANNEUM RESEARCH, 198 S., Graz.

**Block IV Perspektiven zur Erfassung und Modellierung von Parametern des Wasser- und Stoffkreislaufs/  
Outlook on Measuring and Modelling Parameters of the Hydrologic Cycle**

**Session 4 Grundlagen und Datenmanagement/  
Basics of Measuring Techniques and Data Management**

**von Unold, Georg (UMS GmbH):**

Modulare Konzepte der Lysimetertechnologie für differenzierte Anwendungsbereiche und deren Einordnung in die Skalenproblematik

**Steins, Andreas (UMS GmbH):**

Anforderungen an die Messtechnik zur Umsetzung moderner Datengewinnungskonzepte

**Rock, Gerhard (Joanneum Research/WRM, Graz), J. Fank:**

Weighable Monolithic Field Lysimeters at the Test Field Wagna: Collection of Measuring Data and Concepts for the Data Analysis

**Lanthaler, Christine (K.-F. University Graz), J. Fank:**

Measuring Results at the Wagna Research Field – a Complex Dataset for Model Preparation and Validation on the Lysimeter Scale

**Kunkel, Ralf (FZ Jülich), F. Wendland, S. Hannappel, H. J. Voigt, R. Wolter:**

The Influence of Diffuse Pollution on Groundwater Content Patterns for the Groundwater Bodies of Germany

**Schilling, Christian (Vienna University of Technology), M. Zessner, A. P. Blaschke, J.O.**

Skøien, D. Gutknecht, H. Kroiss:

Denitrification in Groundwater – Results from Investigations in two Austrian Case Study Regions

**Reimann, Thomas (TU Dresden), R. Liedl, W. Walther:**

Transport of Solutes in the Transition Zone of Saturated and Unsaturated Underground



# **Modulare Konzepte der Lysimetertechnologie für differenzierte Anwendungsbereiche und deren Einordnung in die Skalenproblematik**

Georg von Unold

UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
Gmunder Str. 37  
D-81379 Muenchen

## **Summary**

Soils have a key role for most environmental research studies because of their multiple functions. Water is the main transport media in soils. Therefore, the knowledge of water retention and water flux behavior in soils is the basic information needed for investigations on water – and energy balance, for food production, cultivation, irrigation, forestry, ground water management and ground water protection, waste risk assessment, ecosystem research and - monitoring.

But natural soil structures and textures are varying over a wide range, layers are heterogeneous, capillary borders highly complex and fluxes issue of preferential - and bypass flow. Therefore, it is a challenge to work with soils and to choose the right scales, setups and designs in accordance to the task requirements.

Transmitting laboratory results into the field, punctiform results into areas and calibrating models for regions requires application of several scales, there interactions and synergies. Modern lysimeters combine field conditions with the high accuracy known from laboratory setups, which enable us to measure precisely in natural, monolithic soils under true climatic, hydrologic and/or farming conditions.

Lysimeter designs themselves ran through a technical revolution the last 10 years. While Lysimeters initially measured drainage water, they are available now as precise tools for any water flux, soil water determination and water balance study. Especially monolithic weighable lysimeters are now available as tools for research & monitoring tasks in Hydrology, Climatology, Bioremediation, Soil Science and Agronomy. Because of the different task requirements, they need different application-oriented construction, measurement equipment, and handling and data tools. Each type is aligned to specific needs versus the efforts of standardized design. Therefore, modularity is a basic requirement concerning construction, maintenance and comparability of results.

## **Modulare Konzepte der Lysimetertechnologie**

Böden spielen wegen ihrer vielschichtigen Funktionen eine Schlüsselrolle bei den meisten ökosystemaren Forschungsprojekten und Umweltmonitoringaufgaben. Das Bodenwasser ist dabei das hauptsächliche Transportmedium für die Stoffverlagerung und der hauptsächliche Energieträger. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, Bodenwasser in seinem komplexen Verhalten zu kennen. Flüsse und Frachten, Retentions- oder Bindungspotentiale sind maßgebend für Untersuchungen zur Wasser-, Stoff- und Energiebilanz, zur Bewirtschaftungsoptimierung, zur Bewässerung, in der Forstwissenschaft, dem Grundwasserschutz und Grundwassermanagement, der Abschätzung von Altlastengefahren, sowie dem Umweltmonitoring.

Jedoch variieren natürlich gelagerte Böden in ihrer Textur und Struktur in diesem Kontext enorm. Horizonte verhalten sich verschieden, deren kapillare Übergangsfunktionen sind komplex und Flüsse nicht homogen verteilt, sondern abhängig vom Bodenaufbau mit seinen präferentiellen Fließpfaden und Bypassflüssen. Daher ist es eine besondere Herausforderung mit Böden zu arbeiten, und je nach Untersuchungsgegenstand die geeigneten Instrumente der verfügbaren Skalen in Labor und Gelände zu wählen sowie die Mess- und Auswertetools daraufhin abzustimmen.

Damit die Ergebnisse aus Laboruntersuchungen auf das Feld übertragen werden können, und um punktuelle Informationen in die Fläche übertragen zu können ist es nötig mehrere Skalen zu nutzen in ihrer Interaktionen und Synergien.

Moderne Lysimeter bilden eine neue Skala zwischen Laborversuchen und Freilandstationen. Sie kombinieren die aus den Laborversuchen bekannt Präzision mit echten Feldbedingungen.

Die Entwicklung der Lysimeter hat in den letzten 10 Jahren eine technische Revolution erlebt. Während Lysimeter ursprünglich zur Sickerwassermessung eingesetzt wurden, stehen uns heute präzise Messinstrumente für die Bodenwassermessung, Sickerwasserbestimmung, Verdunstungsmessung, zur Verlagerung und Stoffumsetzung zur Verfügung. Wegen der vielschichtigen Anwendungen, die sich daraus ergeben, müssen die jeweiligen Anforderungen in ihrer Konstruktion und Instrumentierung berücksichtigt werden. Dies steht im Gegensatz zur Forderung nach standardisierten Methoden. Daher ist ein modulares Konzept notwendig, damit die einzelnen Komponenten standardisiert sind, - die Instrumentierung aber den Anforderungen der jeweiligen Zielsetzung entspricht.

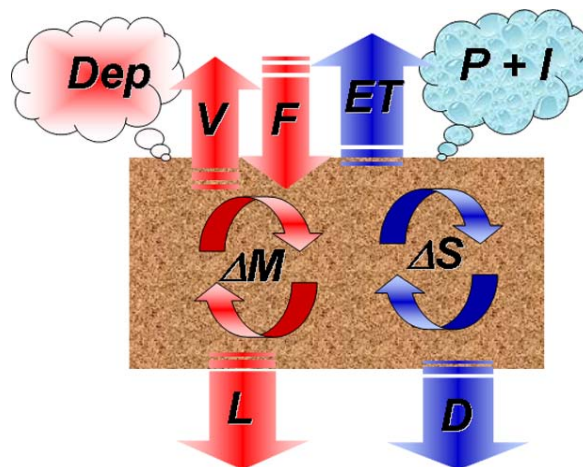
Neue monolithische Lysimeter werden zur Wasserbilanzbestimmung, zu Stoffumsetzungs- und zu Stofftransportstudien eingesetzt. Mit dem Präzisionswägesystem ausgestattet, können alle Niederschlagsformen, ET und  $ET_0$  und Sickerwasser auf 0,01 mm zeitlich hochaufgelöst gemessen werden. Damit kann die Wasserbilanzgleichung

$$P + I - ET - D - \Delta S = 0$$

und die Stoffbilanz

$$Dep + F - V - L - \Delta M = 0$$

dargestellt in **Fig. 1.**, gelöst werden (nach FANK., J.). Lysimeter eignen sich daher besonders zur Bestimmung der Grundwasserneubildung, zur Modellkalibrierung sowie für alle bodenwasserabhängigen Untersuchungen.



**Fig. 2.** Wasserbilanzparameter/parameters on water balance, J.FANK

Parameter der Wasser- und Stoffbilanz:

Dep = atm. Deposition, F = Düngung, V = Vegetationsentzug und gasförmige Verluste

L = Auswaschung,  $\Delta M$  = Änderung des Masseinhalts

Dep =  $P \cdot Pc + I \cdot Ic = D \cdot \Delta c$ , D = Sickerwasser, P = Niederschlag, c = Stoffkonzentration

## I = Bewässerung

Neu ist die Matrixpotentialübertragung der Feldmatrixpotentiale in das Lysimeter oberhalb der Bodenplatte. Damit bleibt der im Feld übliche Wasserfluss im Lysimeter erhalten.

Bei bisherigen Schwerkraftlysimetern geht man von freidränendem Wasser in der Tiefe der Bodenplatte aus, was selten der Fall ist. Um feldidentische Sickerwasserraten zu erzielen wird oberhalb der Bodenplatte ein SIC-Saugkerzenrechen (Fig. 2.) eingesetzt. Je nach Wasserbewegung im Boden kann über den Saugkerzenrechen das Feldpotential über die Bodenplatte im Lysimeter übertragen werden und Sickerwasser abgesaugt – oder kapillares Aufstiegswasser eingespeist werden. Damit ist für die Höhe des Lysimeterzylinders nicht mehr das Niveau der Bodenwasserscheide entscheidend, sondern der Bodenaufbau und die Durchwurzelungstiefe. In gleicher Weise kann ein natürlicher oder artifizierlicher Grundwasserspiegel eingestellt werden.



**Fig. 2.** Schematischer Aufbau und Foto des Matrixpotentialrechen/sketch and foto of suction cup rake

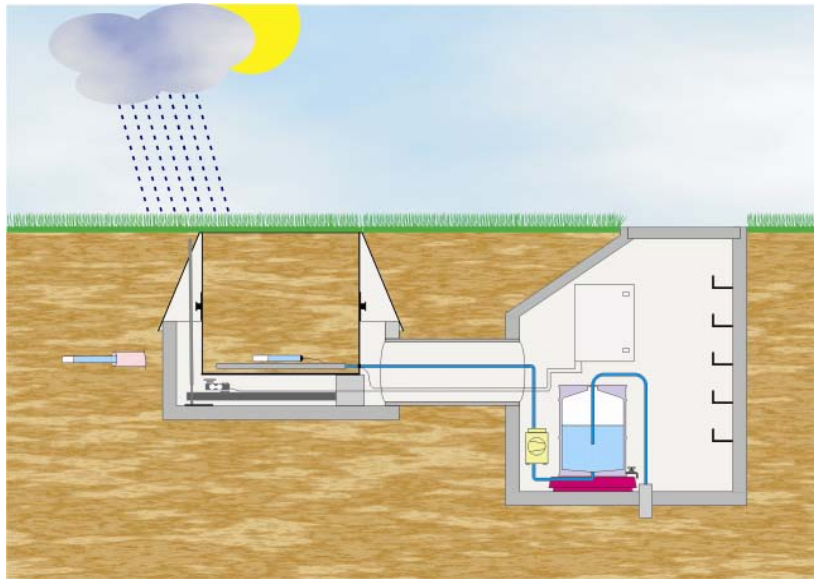
Im Folgenden werden vier modulare Standardlysimeter, entwickelt in Kooperation mit der Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH Graz, vorgestellt, deren Konstruktion, Instrumentierung und Auswertetools auf die spezifischen Anforderungen abgestimmt wurde.

## **Beschreibung von vier modularen Lysimeterkonstruktionen für verschiedene Anwendungen**

### **Hydro-Lysimeter**

Zu den Aufgaben der Hydrographie zählt die Bestimmung der regionalen Grundwasserneubildungsraten, der Niederschläge und Verdunstungsraten. Mit dem Hydro-Lysimeter werden die Bodenwasserparameter und deren Schnittstellen zu Atmosphäre und Aquifer direkt gemessen. Vorteilhaft ist, dass Niederschlag und Verdunstung direkt an der Bodenoberfläche gemessen werden. Weiter wird das Sickerwasser bei feldidentischen Bodenwasserbedingungen (Matrixpotentialübertragung) gemessen. Die Verdunstungsmessung erfolgt für europäische Klimazonen zeitlich hochaufgelöst. Präzise Messung und Auflösung von Niederschlag und Verdunstung auf 0,01 mm. Sickerwasser wird mit einer Auflösung von 0,001 mm gemessen neben der Messung der Änderung des Bodenwasserspeicherinhalts. Damit können Wasserbilanzmodelle validiert werden.

Der Serviceschacht beinhaltet den wägbaren Wassertank zur Sickerwassermessung und Wassereinspeisung. Weiter sind darin der Messschrank mit Datenlogger, Pumpensteuerung und Versorgung untergebracht.



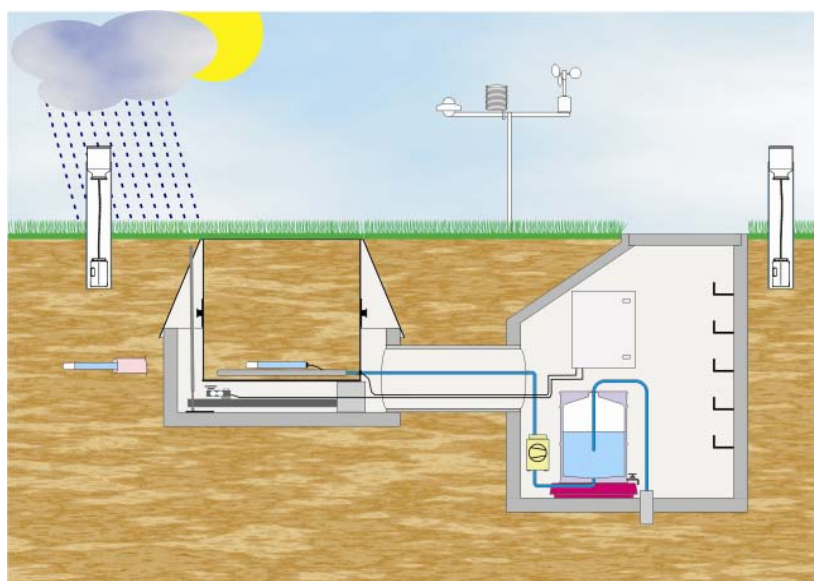
**Fig. 3.** Schematischer Aufbau des Hydro-Lysimeters/sketch of the Hydro-Lysimeter

Die Inputparameter sind das Wasserequivalent von Regen, Tau, Reif und Schnee, authentisch zur tatsächlichen Bodenoberfläche bzw. zum Bewuchs. Die Outputparameter sind die Evapotranspiration,  $ET_0$  (bei Grasbewuchs), Sublimation und das Sickerwasser.

Grenzen: Das Hydro-Lysimeter ist nicht geeignet für Hänge oder Waldstandorte. Schneedecken müssen vor der Eisbildung von Hand über dem Ringspalt freigestochen werden. Die Fläche kann nicht maschinell bewirtschaftet werden. Grundwasserabstand mindestens 2,5 meter.

### ***Meteo-Lysimeter***

Die zur Erstellung der Wasserbilanz nötige Messung der tatsächlichen Verdunstung und der potentiellen Verdunstung war bisher gestützt auf Ansätze und Geräte, die diese Größen nur näherungsweise bestimmen können. Mit dem Meteo-Lysimeter steht ein System zur Verfügung, das mit der tatsächlichen Bodenoberfläche und Bodenfeuchte sowohl  $ET$  als auch  $ET_0$  (bei definiertem Grasbewuchs) präzise messen kann. Ebenso wird das Sickerwasser hoch aufgelöst gemessen sowie Bodenwasserspeicheränderungen.



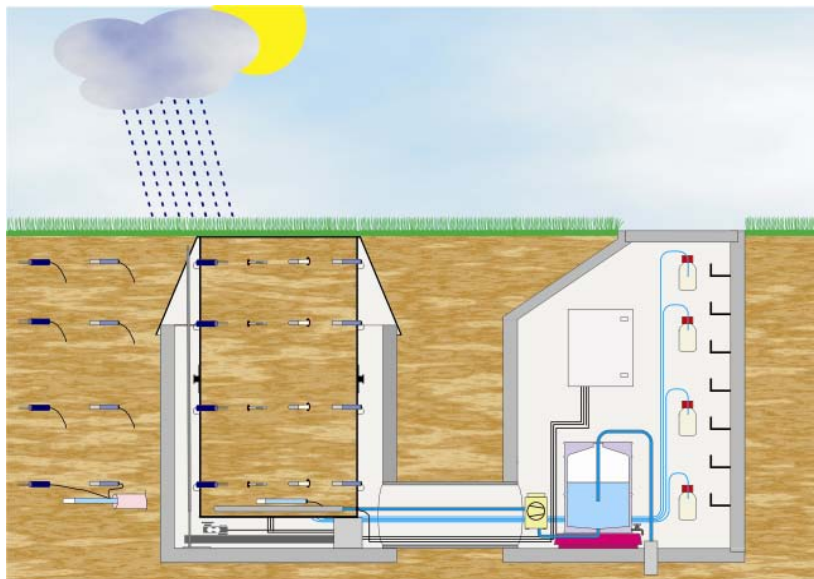
**Fig. 4.** Schematischer Aufbau des Meteo-Lysimeter/sketch of the Meteo-Lysimeter

## Scientific-Field-Lysimeter

Präzisionsmessungen zur Bestimmung der horizontalen Bodenwassersituation und der Wasserflüsse sowie zur definierten Porenwasser- und Sickerwasserprobenahme.

Wasserspannung, Temperatur und der Wassergehalt werden üblicherweise in den Tiefen 30 cm, 60 cm, 120 cm und 180 cm gemessen, wobei individuelle Tiefen gewählt werden können. Die Siliziumcarbidkerzen SIC20 dienen zur Porenwasserprobenahme. Der SIC-Saugkerzenrechen in 195 cm Tiefe agiert wie beim Hydro-Lysimeter zur Übertragung des Matrixpotentials und zur Sickerwasserbestimmung.

Lysimeter und Freiland werden parallel mit Mess- und Probenahmesonden bestückt, wodurch die Vorteile beider Verfahren genutzt werden. Damit eignet sich das System (**Fig. 5.**) zum Langzeitmonitoring von bodenkundlichen und bodenwasserrelevanten Prozessen.



**Fig. 5.** Schematischer Aufbau des Scientific-Field-Lysimeter/sketch of the Scientific-Field-Lysimeter

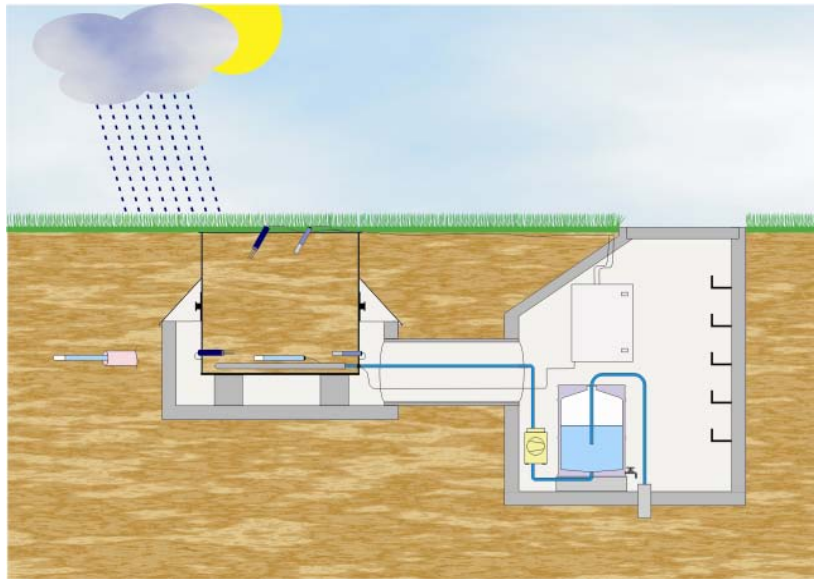
Das Lysimeter wird eingesetzt zur

- Quantifizierung von Wasser- & Stoffflüssen unter realen Bedingungen in wählbaren Tiefenstufen.
- Messung der pF-Kurve in situ.
- Beobachtung von Sickerwasser und Kapillarwasser.
- Messung der Bodenwasserspannung, des Wassergehaltes und der Temperatur im Lysimeterprofil und im Freilandprofil.
- Beprobung des Bodenwassers über konstantes - oder tensiometer-gesteuertes Vakuum.
- Messung der Sickerwassermenge mit 0,001 mm Auflösung.

## Agro-Lysimeter

Das Agro-Lysimeter (**Fig. 6.**) ist ein nicht wägbares, monolithisches Feldlysimeter. Es hat einen abnehmbaren, abgedichteten Ring mit 35 cm Höhe zur konventionellen Feldbewirtschaftung.

Dieser wird vor der Bewirtschaftung abgenommen. Nach der Bewirtschaftung wird der Bearbeitungsring wieder aufgesetzt und abgedichtet. Der schmale Ringspalt wird von Hand rückverfüllt und die oberen Messsonden werden wieder von oben eingesetzt. Ausgestattet mit Matrixpotentialübertragung.



**Fig. 6.** Schematischer Aufbau des Agro-Lysimeter/sketch of the Agro-Lysimeter

## Literatur/References

- DVWK 1980: Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern, Verlag Paul Parey ISBN 3-490-11497-3.
- FANK, J., V. UNOLD, G., (2005). Wägbare monolithische Lysimeter unter maschineller Freilandbewirtschaftung (Wagna-Austria). Bericht über die 11. Gumpensteiner Lysimetertagung, 55-60.
- JANKER, G., KLOTZ, D., STEINDL, H., V.UNOLD, G. (1998). Sensorik und Datenerfassung der GSF-Lysimeteranlage Neuherberg, GSF-Bericht 23/98, 41-48
- KLOTZ, D., GAUDLITZ, H., HINREINER, G. (2001). Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung-ein Vergleich von Labor- und Lysimeteruntersuchungen. BAL-Bericht 9. Lysimetertagung, 181-183.
- LEIS, A., THEURETZBACHER-FRITZ, H., V. UNOLD, G.: Zusammenfassung des Workshops Lysimeter-Anforderungen, Erfahrungen, Technische Konzepte. BAL-Bericht 9. Lysimetertagung, 7-9
- V.UNOLD, G., (2002) UMS- application note: Allgemeine Anforderungen an Lysimeterstationen und deren Betrieb (unveröffentlichter Bericht)
- V.UNOLD, G., (2006) UMS-Ausgabe 3.0, Lysimeter, 6-13  
([http://www.ums-muc.de/produkte.html?p%5Bkategorie\\_id%5D=10&cHash=f3e08d80c1](http://www.ums-muc.de/produkte.html?p%5Bkategorie_id%5D=10&cHash=f3e08d80c1))
- V.UNOLD, G., FANK, J., (2006): Lysimeter station requirements and techniques for water balance, solute flux and bioremediation investigations. Sophywa Symposium, Soil Physics and Rural Water Management – Progress, Needs and Challenges 85-88

# **Anforderungen an die Messtechnik zur Umsetzung moderner Datengewinnungskonzepte**

A. Steins

UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
Gmunder Str. 37  
D-81379 München

## **Summary**

Modern data acquisition systems with remote access are capable of building complex simulation models in the spot. Users can choose out of a large portfolio of measure and control functions. Intelligent sensors can improve the quality of the measuring data. Precision, stability and integrity can be improved by the use of intelligent sensors.

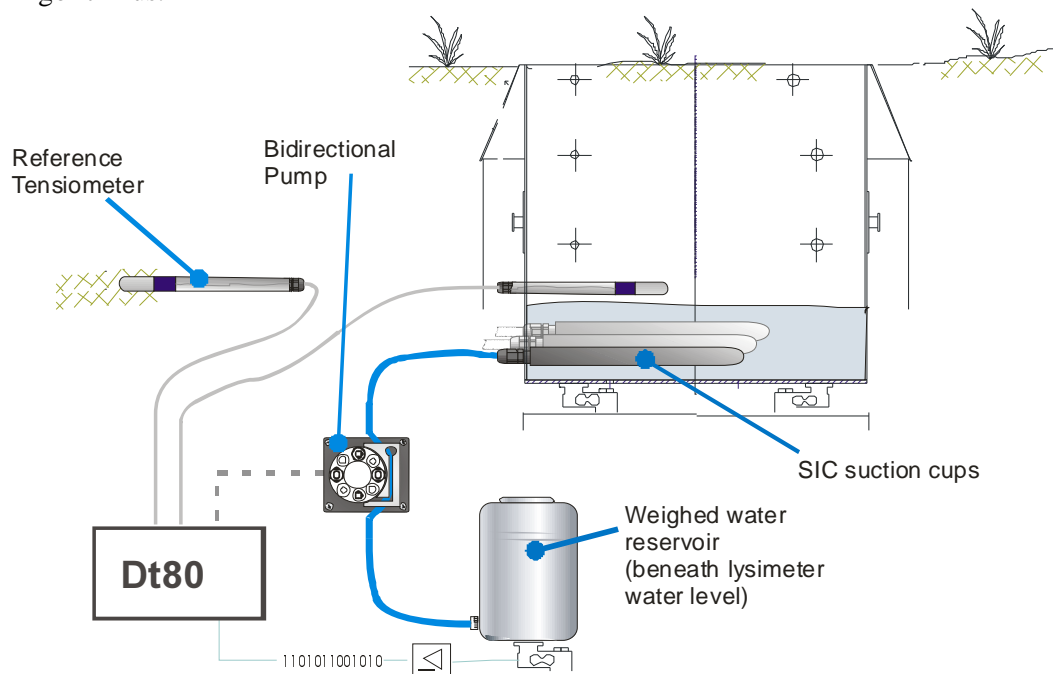
The requirements and possibilities of these systems will be discussed by throwing a glance at the Lysimeter sites in Napoli and Wagna.

## Kurzfassung

### Datenerfassung und Steuerung

Moderne Datenerfassungssysteme ermöglichen es uns heutzutage komplexe Mess- und Steuerungssysteme mit überschaubarem Aufwand zu realisieren. Die verfügbare Technik kann dabei nicht nur einfach Daten von Sensoren erfassen, sondern auch aktiv in das System einwirken. Durch die autark arbeitenden Mess- und Regelsysteme lassen sich vor Ort Simulationsmodelle realisieren, mit denen Wissenschaftler in Situ theoretische Modelle überprüfen können.

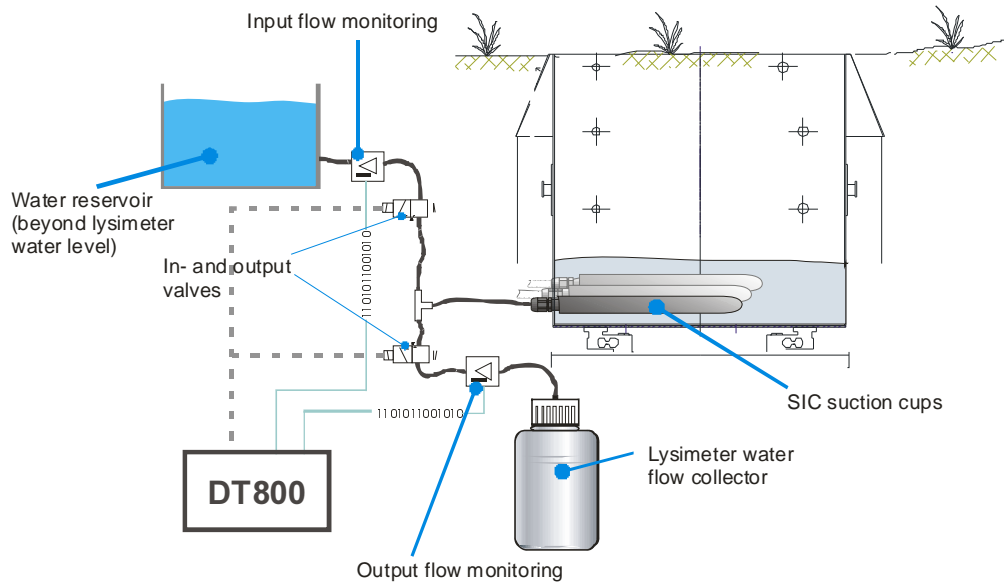
Die Lysimeteranlagen in Neapel und Wagna verfügen über eine Simulation der Bodenwasserspannung bzw. des Grundwasserpegels. Im Hydroly in Wagna (Fig.1) wird über eine bidirektionale Pumpe Wasser vom Saugkerzenrechen in einen Auffangbehälter gepumpt und wieder zurück. Die Implementierung erfolgt über einen auf die Verhältnisse optimierten Algorithmus.



**Fig. 1.** Pumpenregulierung der Bodenwasserspannung; Pump regulation of soil water tension



In Neapel hingegen (Fig.2) wird der Grundwasserspiegel in den Lysimetern durch gravimetrischen Zu- bzw. Abfluss von Wasser geregelt. Pro Lysimeter werden hierbei je 2 Magnetspulenventile und ein zentraler Wassertank verwendet.



**Fig. 2.** Pumpenregulierung der Bodenwasserspannung; Pump regulation of soil water tension

## Fernwartung

Mobilfunktechnologie und das Internet erlauben es dem Betreiber zu jeder Zeit aktiv in das Geschehen einzugreifen. Gerade in der Startphase einer Messstation bedarf es intensiver Kontrolle über die Sensorik und die Steuerung.

Bei beiden Lysimeterstationen können Regelparameter über das Internet online an den Datenlogger übergeben werden. Über das Internet kann auch jederzeit der Status aller angeschlossenen Geräte überprüft werden. Die Betreiber der Messstation haben Zugang zu den Messdaten und weiteren angebundenen Systemen wie z.B. Videoüberwachung und Bodenwasserprobeentnahme.

Der technische Support hat des weiteren Zugang zu allen installierten Messgeräten, wodurch Wartungsfunktionen remote durchgeführt werden, oder effektiv vor dem Besuch der Station geplant werden können.

Eine Fernanbindung hat auch bei kleineren Messstationen direkte Vorteile für den Anwender. Durch die Verkleinerung der Messdaten- Abfrageintervalle durch Fernzugriff werden Datenausfälle zeitnah festgestellt und können schnell behoben werden.

## Verwaltung von Messdaten

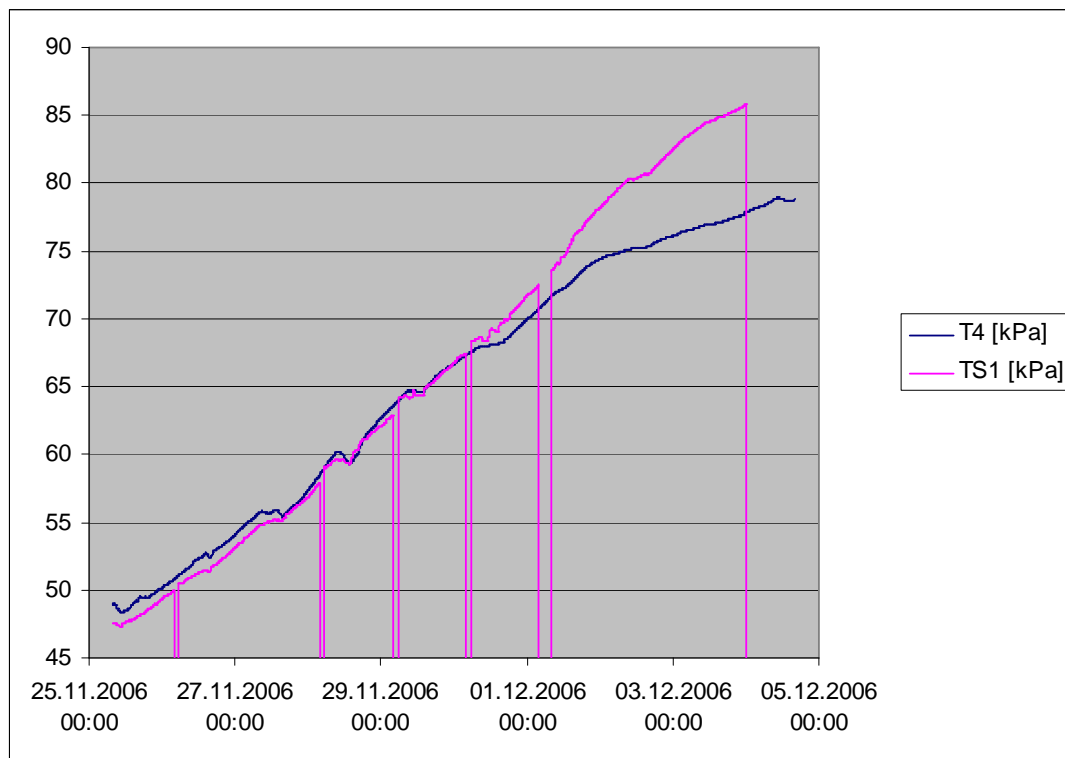
Flexible Datenbanksysteme in Verbindung mit der Datenfernübertragung werden in Zukunft mehr dabei helfen den Wissenschaftler von lästigen Aufgaben der Datenverwaltung entlasten. Hierbei kommuniziert die Messstation bidirektional übers Internet, z.B. über GPRS mit dem Datenbankserver, der vom Hersteller der Messstation gehostet wird. Die Speicherung und Verwaltung der Datenbank übernimmt der Hersteller, während die Daten nur vom Anwender über Username und Passwort abgeholt werden.

## Intelligente Sensoren

Intelligente Sensoren helfen uns die Messdaten Konsistenz zu halten. Integrierte Algorithmen zur Fehlerüberprüfung melden dem Anwender z.B. unmissverständlich Datensätze, die von der Verwendung ausgeschlossen werden müssen.

Integrierte Funktionen der Sensoren können helfen vom zentralen Datenerfassungssystem unabhängig zu werden und vermeiden Fehler in der Anwendung.

Bei dem selbstbefüllenden Tensiometer TS1 führt der Mikrocontroller zyklisch eine Überwachung des Kerzen-Befüllzustandes durch. Überschreitet das Luft Volumen in der Kerze einen Schwellwert, so wird ein Befüllalgorithmus gestartet. Die Messwerte werden nach Außen hin zum Datenlogger entweder gekennzeichnet, oder eindeutig signiert (Fig. 3), so dass bei der späteren Auswertung der Daten eindeutig ist, wann das Tensiometer korrekt befüllt war und die Messdaten zuverlässig sind.



**Fig. 3.** Kennzeichnung unbrauchbarer Messwerte; Signing of measure data integrity

# **Weighable Monolithic Field Lysimeters at the Test Field Wagna: Collection of Measuring Data and Concepts for the Data Analysis**

G. Rock & J. Fank

JOANNEUM RESEARCH  
Institute of Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## **Zusammenfassung**

Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen an der Lysimeterstation Wagna aus den Jahren 1992 bis 2003 wurden im Sommer 2004 zwei monolithische wägbare Präzisionslysimeter mit parallel geschalteten bodenhydrologischen Messprofilen installiert. Im Frühjahr 2006 wurde die Messumgebung durch ein wägbares „Gras-Lysimeter“ zur Erfassung der Referenzverdunstung ergänzt.

Aufgrund des enorm großen Datenanfalls aus insgesamt 102 on-line Sensoren von denen an 4 Messinstrumenten 1-Minutendaten und an den übrigen 10-Minutenwerte anfallen sowie den zusätzlichen Informationen aus der ackerbaulichen Bewirtschaftung und den Ergebnissen der bodenphysikalischen, isopenhydrologischen und hydrochemischen Analytik war es notwendig ein effizientes Datenmanagementsystem zu erstellen, um einen kontinuierlichen Überblick über die Datenlage des Versuchsfeldes zu gewährleisten.

Wesentlichster Bestandteil dieses Managementsystems ist eine Datenbank, in der alle zeitabhängigen Daten erfasst und verwaltet werden. Diese Daten werden auf mehreren Datensammlern in der Forschungsstation gespeichert und via Internet-Verbindung in die Datenbank eingelezen. Visualisierungs- und Editierwerkzeuge lassen eine rasche Überprüfung und erste Korrektur der Messwerte zu. Dabei wird auf ein Versionsmanagement Wert gelegt, sodass jeder Datensatz von seiner Entstehung über unterschiedliche Bearbeitungsstufen jederzeit verfolgbar und auch wieder herstellbar ist.

Diese Zeitreihen-Datenbank in Verbindung mit zusätzlichen Datenbanken, in denen die übrigen Informationen strukturiert vorgehalten werden bilden die Basis für unterschiedlichste Auswertungen. Einerseits können über Programmierschnittstellen verschiedene Datenbanken von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen mit den erforderlichen Informationen versorgt werden, andererseits müssen auch die Messdaten selbst ausgewertet werden, um schließlich hydrologisch relevante Größen generieren zu können. Ein Beispiel dafür ist die Ableitung der Wasserbilanzgrößen für die Lysimeter aus den verfügbaren Wiegeinformationen.

## **Introduction**

As a reaction on increasing nitrate concentrations in the groundwater of the Mura-aquifer in 1991 a lysimeter station in the Wagna agricultural test field has been constructed. Based on the definition of the requirements on measuring sites for validation and calibration of soil water and solute transport models in the unsaturated zone of agricultural environments (Fank et al., 2004), two lysimeters have been implemented in the Wagna agricultural test field in southern Austria (Fank & Unold, 2005). The main goal for ongoing investigations at the Wagna test field is to compare the

impact of conventional and organic farming on the groundwater system. In two of the 32 test fields with an extent of 1000 m<sup>2</sup> each, measuring sites in the unsaturated zone have been built in to get detailed information on water flow and solute transport. An overview of the lysimeter configuration is given in Fank (2006b). In 2006 a third precise weighing monolithic lysimeter has been added for measuring water balance parameters on grassland (mulch-system without fertilization since 1987). Beside data acquisition for numerical modelling the main focus of lysimeter measurement is to solve the water and solute balance equation. The evaluation of lysimeter data allows a much more reliable calculation of the solute load carried towards the groundwater than any other method (Klocke et al., 1993). If the lysimeters are weighable, actual evapotranspiration can be deduced from their weight change (Young et al., 1996). Exact information about the soil water balance is needed to quantify solute transfer within the unsaturated zone (Fank, 2006a). A large weighable lysimeter is the best method for obtaining reliable data about seepage water quantity and quality. The main goal of this paper is (i) to characterize data collection at research station Wagna, (ii) to figure out the data management system and (iii) to specify data evaluation concepts for specific precise weighing lysimeter data sets.

## Data collection

The Wagna agricultural test field consists of 32 fields with an extent of 1000 m<sup>2</sup> each and machine tracks between them. At the centre of the test area two fields each of them has been equipped with a precise weighing lysimeter and a soil hydrologic measuring profile. A lot of data have to be recorded as a data base for further evaluation of water flow and solute transport from the atmosphere to the groundwater system:

- Agricultural cultivation data: crop growing, tillage, fertilization, use of pesticides and herbicides, yield data are recorded and stored in MS-EXCEL–Data sheets
- Analyses (analog data records):
  - Soil physics and soil chemistry from samples gathered during excavation of the lysimeters
  - Content of nutrients in liquid manure and other fertilizers
  - Ingredients of the plants after harvesting
  - Hydro-chemical and isotope analyses results in seepage water, soil water, groundwater from natural water flow and from the tracing experiments
- Lysimeter data (26 on-line records in 1 or 10 minutes interval respectively)
  - Weight records in 1 minute interval
  - Tension attached to the suction cups at the lower boundary of the lysimeter
  - Air temperature close to the load cells
  - Seepage water amount from the suction cups and from free drainage
  - TDR probes in different depth (35, 60, 90 and 180 cm below surface)
  - SIS–matrix sensors in different depths (35, 60, 90 cm below surface)
  - Tensiometers in different depths (90 and 180 cm below surface)
  - Soil temperature sensors in different depths (35, 60, 90 and 180 cm below surface)
  - Additional 2 TDR probes, 2 SIS – matrix sensors, 2 tensiometers and 2 soil temperature sensors during vegetation period to investigate the upper 35 cm of the lysimeter
- Soil hydrologic measuring profile with TDR probes, SIS–matrix sensors, tensiometers and soil temperature profiles at the same depths as in the lysimeter monolith (14 on-line records in 10 minutes recording interval)
- In two bore holes the groundwater table elevation, groundwater temperature and electrical conductivity is monitored (4 on line sensors in ten minutes recording interval)
- From the video watching system one picture per day is stored beside the lysimeter video stream, stored monthly on DVD

A weather station is measuring air temperature, humidity, wind velocity in two heights (2 m and 4 m above surface) and radiation. Net radiation additionally is measured directly above the lysimeter (2 m above surface). Precipitation is measured using a precipitation balance and two tipping buckets. At the two lysimeter plots data records of 94 on-line sensors have to be managed.

The grass-lysimeter is situated at the border of the Wagna test field and is equipped with a further meteorological station where the parameters to calculate Penman-Monteith reference evapotranspiration in short time intervals (Walter et al, 2005) are measured in 10 minutes time interval (4 on-line sensors). The lysimeter weighing data and the seepage water weighing data as well as the records from the vacuum pump (direction of rotation and time of rotation) are stored in 1 minutes time interval (4 on-line sensors). Additionally the records of the two tensiometers (in the field and in the lysimeter 95 cm below surface) are registered in 10 minutes time interval (2 on-line sensors).

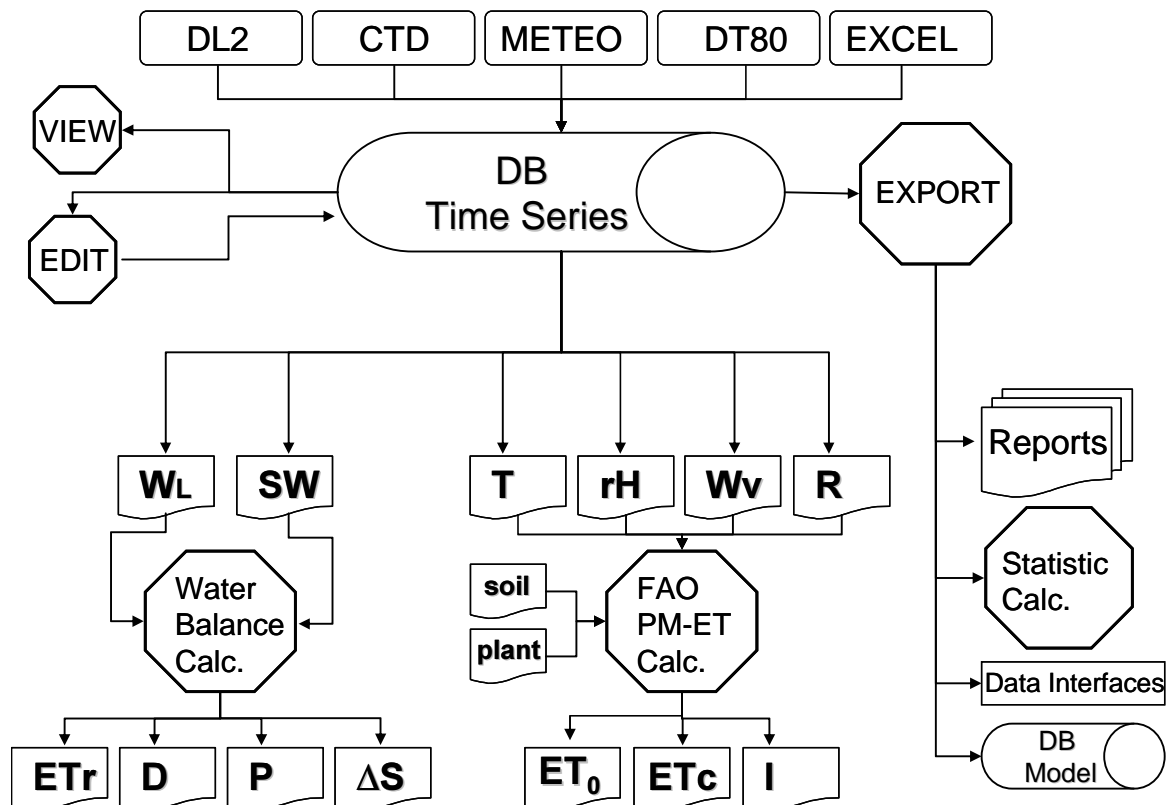
## Data management

Due to the large number of data records (> 100 on-line sensors in 1 or 10 minutes recording interval and the data records from the weather station “Leibnitz” of the Austrian meteorologic survey) it was necessary to develop an efficient data management system for the Wagna-data. The on-line data are stored in different data loggers (data from lysimeters, soil hydrologic measuring profiles and meteorological data on DL2 data loggers, groundwater data on CTD-Diver data logger, “Leibnitz” weather data on Meteodat logger, data from grass-lysimeter on DT80 logger). Most of the data loggers, the load cells of the two lysimeters as well as the video watching system are directly connected to the PC in the research station. The DT80 logger, which acts as the vacuum pump control unit as well, is about 100 m away from the research station and is connected to the PC via radio-link-system. The PC in the Wagna research station is connected via broadband to internet and to the network of JOANNEUM RESEARCH. Using a software package like PC-Anywhere it is possible to work with the computer on every place where an internet connection is available. Once a day the data collection system is checked, the video-stream is scanned and one picture of each lysimeter is stored at the PC. Once a week the measured data are retrieved from the data loggers and copied via network to the office in Graz. After a first data check all time dependent on-line data are stored in a time-series data base.

The time-series data base is realized as a relational data base (e.g. MS-ACCESS, MS-SQL-Server, ORACLE). The data base allows it to define the measured data in a hierarchical structure (every “DB-value” is related to a “DB-parameter”, every “DB-parameter” is related to a “DB-station”). The different measuring sites (lysimeter, soil hydrologic profile, weather station, etc.) are defined as “DB-stations”, the different measuring parameters at different measuring points are realized as “DB-parameters”. Each measured value is stored as a “DB-value” related to the “DB-parameter” and a “DB-station”. Each correction of a measured value is stored as a new version. Therefore it can be guaranteed that in a later step of data evaluation the rough measured data and any change on their values may be traced using the time series versions management system. All the access to the data is done by software modules (only SQL-commands are used for data access). These software modules are so called “ActiveX-DLLs” and can be easily used developing extensions within other software packages (EXCEL, ArcGIS etc.).

## Data evaluation concepts

Based on the time series data base a data evaluation concept of Wagna research station has been developed (**Fig. 1**). The main modules of the software are “VIEW” for visualisation, “EDIT” for editing and data correction, “EXPORT”, “Water Balance Calculator” to determine water balance parameters from the lysimeter data (Fank, 2006b) and the “FAO PM-ET Calculator” to calculate evapotranspiration and potential (optimal) irrigation from weather, soil and plants datasets.



**Fig. 1.** Flow chart of the Wagna data management and data evaluation concept.  $W_L$  = Lysimeter weight, SW = seepage water amount, T = Temperature, rH = rel. humidity, Wv = wind velocity, R = radiation, ETr = real evapotranspiration, D = drainage, P = Precipitation,  $\Delta S$  = change of stored water,  $ET_0$  = grass reference evapotranspiration (Walter et al., 2005),  $ET_c$  = crop evapotranspiration, I = potential (optimal) Irrigation

## References

- FANK, J. (2006a): Modellkalibration anhand von Lysimeterdaten. Wissenschaftliche Tagung 2006 Sektion Lysimeter, Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Heft 10 / 2006, 37-49, Jena.
- FANK, J. (2006b): Monolithic field lysimeters for precise weighing – a basis for balancing water flow. Proceedings of the international Symposium “Soil physics and rural water management – Progress needs and challenges“, September 28–29, 2006, 89-92, Vienna / Austria.
- FANK, J., E. STENITZER, F. FEICHTINGER, P. CEPUDER (2004): Messdaten und Modellkalibration an der Forschungsstation Wagna und daraus abzuleitende Anforderungen an Messstellen zur Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen. In: KLOTZ, D. (Hrsg.): Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern. GSF-Bericht 02/04, 79-86, München.
- FANK, J. & G. v. UNOLD (2005): Wägbare monolithische Lysimeter unter maschineller Freilandbewirtschaftung (Wagna – Austria). 11. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen“ vom 5. – 6. April 2005, 55-60, Gumpenstein.
- KLOCKE, N.L., TODD, R.W., HERGERT, G.W., WATTS, D.G., PARKHURST, A.M. (1993): Design, installation, and performance of percolation lysimeters for water-quality sampling. Transactions of the ASAE 36, 429-435.
- WALTER, I. A., R. G. ALLEN, R. ELLIOTT, D. ITENFISU, P. BROWN, M. E. JENSEN, B. MECHAM, T. A. HOWELL, R. SNYDER, S. ECHING, T. SPOFFORD, M. HATTENDORF, D. MARTIN, R. H. CUENCA & J. L. WRIGHT (2005): The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. ASCE-EWRI Task Committee Report. 59 S.
- YOUNG, M.H., WIERENGA, P.J., MANCINO, C.F. (1996): Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies. Soil Sci. 161, 491-501.

# Measuring Results at the Wagna Research Field – a Complex Dataset for Model Preparation and Validation on the Lysimeter Scale

Ch. Lanthaler<sup>1)</sup> & J. Fank<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Karl-Franzens-University of Graz  
Institute of Geography & Environmental Science  
Hochgreditweg 4  
A-8046 Stattegg/Graz – Austria

<sup>2)</sup> JOANNEUM RESEARCH  
Institute of Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## Zusammenfassung

Wie in vielen Bereichen der Naturwissenschaften werden auch zur Erklärung der Wasserbewegungs- und Stofftransportprozesse in der ungesättigten Zone Modelle eingesetzt, die versuchen, die physikalischen Zusammenhänge der untersuchten Kompartimente eines realen Umweltsystems mit mathematischen Gleichungen zu beschreiben. Diese Modelle müssen anhand von Messdaten validiert und die Parameter der Gleichungssysteme regionalspezifisch kalibriert werden, um sie in weiterer Folge für die Übertragung von punktuellen Messinformationen auf größere Flächeneinheiten verwenden zu können.

Am Versuchsfeld Wagna (Steiermark – Österreich) wurden im Jahre 2004 zwei wägbare monolithische Präzisionslysimeter eingebaut, die es in Kombination mit Messdaten der Meteorologie und ackerbaulichen Bewirtschaftungsdaten erlauben, Wasser- und Nährstoffbilanzen einer konventionellen und einer organisch – biologischen Fruchtfolge mit hoher Genauigkeit zu erfassen. Im Jahre 2006 wurde die Messeinrichtung noch durch ein Grünland-Lysimeter ergänzt.

Die Aufnahme bodenphysikalischer und bodenchemischer Parameter anhand von Proben, die im Zuge der Errichtung der Lysimeter gewonnen wurden, wird durch die On-Line Erfassung von Kenngrößen der ungesättigten Zone in den Bodenhorizonten der Lysimeter und in einem parallel geschalteten Freilandprofil ergänzt. Durch die Durchführung und Auswertung von Tracerversuchen können Unterschiede in den Stofftransportprozessen von konservativen Tracern, Mineral- und Wirtschaftsdünger untersucht werden. Aus der Auswertung dieser Tracerversuche sind auch Informationen über präferentielle Flüsse in den Lysimetern verfügbar.

Zur Validierung und regionalspezifischen Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen stehen als Ergebnis kurzintervallige (meist 10') Messdaten der Wasserkreislaufparameter, Pflanzenkoeffizienten der untersuchten Fruchtfolgeglieder aber auch detaillierte Informationen über die ackerbaulichen Bewirtschaftungs- und Düngemaßnahmen zur Verfügung. Daten aus einem Video-Überwachungssystem erlauben die Ableitung unterschiedlicher Pflanzenentwicklungsstadien und die Kontrolle des Wettergeschehens auf visuelle Weise.

Aus unserer Sicht sollten numerische Modelle in der Lage sein, die Messdaten des Wasser- und Stoffkreislaufs von detailliert bekannten Lysimetern nachzuvollziehen, bevor sie für regionale Fragestellungen mit wesentlich geringerer Datenverfügbarkeit eingesetzt werden.

## Introduction

Models for the unsaturated zone are used to investigate physical processes of an environmental system, like water or nutrient transport and evapotranspiration, with the help of mathematical equations. For modelling the processes of the agroecosystem, various data sets are necessary to describe soil water and nutrient transport as well as evapotranspiration (see FANK et al. 2004). The basis for research on nutrient transport in the soil or unsaturated zone is to solve the soil water balance:  $E = P + I + D + \Delta S$ , where  $E$  = evapotranspiration,  $P$  = precipitation,  $I$  = irrigation,  $D$  = drainage and  $\Delta S$  = change of the amount of water stored in a certain period.  $P$ ,  $I$  and  $D$  can be measured easily but  $E$  and  $\Delta S$  are estimated employing mathematical models (see FANK and LANTHALER 2006). After solving the water balance equation, solute transport can be determined using the following equation:  $Dep + F - V - L - \Delta M$ , where  $Dep$  = atmospheric deposition,  $F$  = fertilisation,  $V$  = losses through vegetation and gas transport,  $L$  = leaching and  $\Delta S$  = change of mass. Monolithic lysimeters which are technically up-to-date and have a high precision weighing system are an important tool for calibrating models, as shown in FANK 2006 a.

## The Wagna agricultural test site

At the Wagna test site (Styria, Austria), several measuring devices are installed to record data used for model calibration and validation. Besides determining meteorological parameters, lysimeters are installed in the soil to measure the seepage water amount. Two weighable containers of 1 m<sup>2</sup> x 2 m depth are filled with undisturbed soil and implemented directly in the agricultural field and can be cultivated mechanically due to a mobile ring on top of the vessel. Another monolithic lysimeter of 1 m<sup>2</sup> x 1 m depth is installed in grassland to determine grass reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) (see FANK and v. UNOLD 2005 and FANK 2006 b). Because of the high precision weighing systems with a resolution of 0.05 mm and 0.01 mm of seepage water amount, lysimeters are valuable devices for measuring water balance parameters for individual time steps. Several tracer experiments were carried out to investigate differences in the transport processes of conservative tracers and mineral fertilisers or organic manure. Tracer experiments can also make preferential flow noticeable (FANK and ROCK 2005).

## Data sets for model development and validation

### Atmosphere

According to plant development and growth, crop evapotranspiration (E<sub>c</sub>) changes within time and ET<sub>o</sub> has to be adjusted by several coefficients (see WALTER et al. 2005): Applying weighable lysimeters, crop coefficients can be derived of measuring data. The soil evaporation coefficient (K<sub>e</sub>) and basal crop coefficient (K<sub>cb</sub>, which is a ratio of the crop evapotranspiration over the reference evapotranspiration when dry soil occurs but water does not limit transpiration) can be determined for wet periods, see Fig. 1. In dry periods without water stress, soil evaporation can be neglected but transpiration of plants occurs. During the third period, as the red part in Fig. 1, shows, no rainfall was measured and another coefficient can be derived, K<sub>s</sub>, which describes the effect of water stress on crop transpiration.

### Unsaturated zone and cultivation

Fig. 2 presents the determination of parameters for two cropping systems, conventional farming with maize and organic farming with clover/grass. Precipitation is measured by several devices



(blue lines) but also by weighing lysimeters. We can see that precipitation amounts measured using lysimeters are higher than applying the usual weighing methods. The exact seepage water amounts (dashed lines) can also be determined exactly by suction cups; evapotranspiration is calculated according to Penman-Monteith from meteorological data and is adjusted by crop coefficients. The difference is assumed to be the change of water storage in soil, as the balance in Fig. 2 shows.

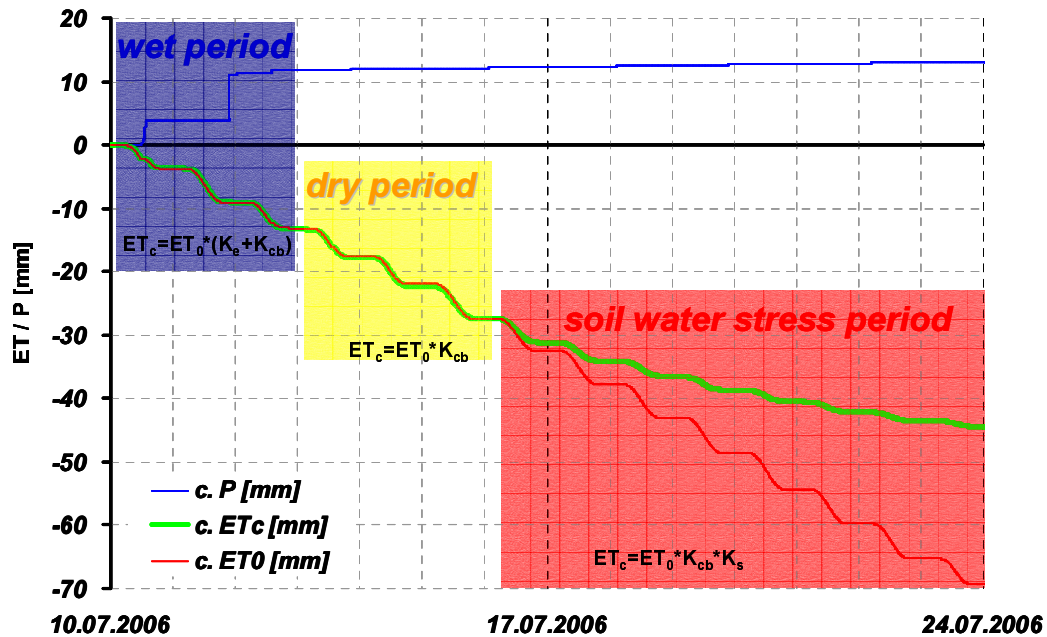


Fig. 1. Evaluation of crop factors and soil water stress factors from lysimeter measurement and short term evaluation of grass-reference evapotranspiration (Walter et al., 2005).

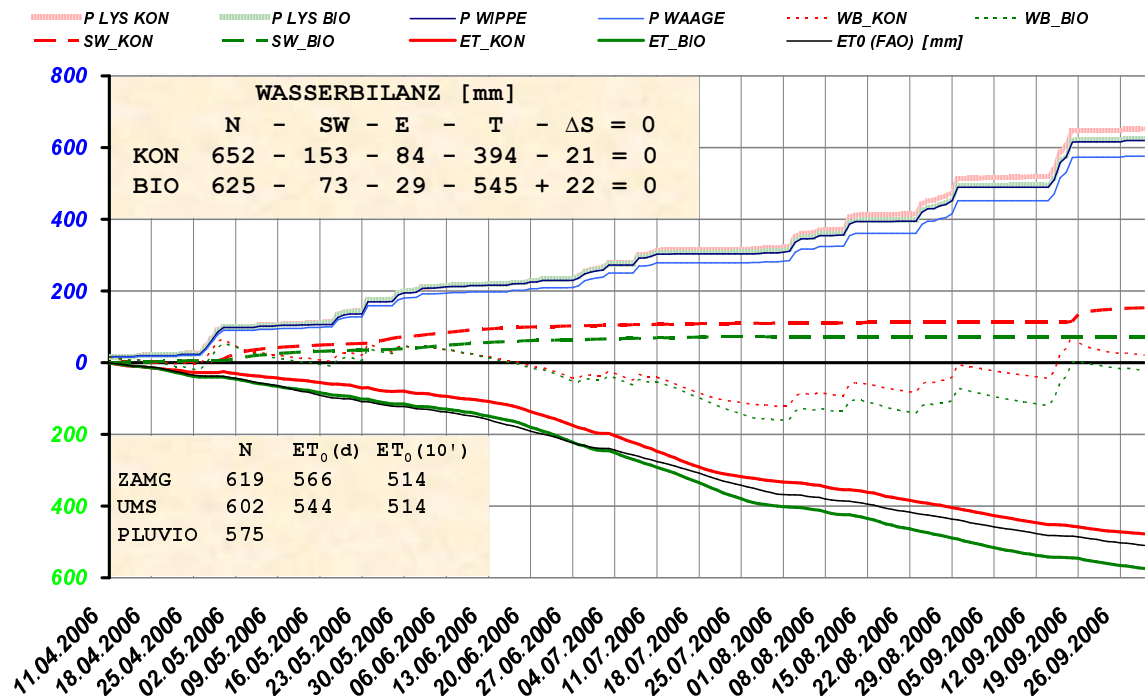
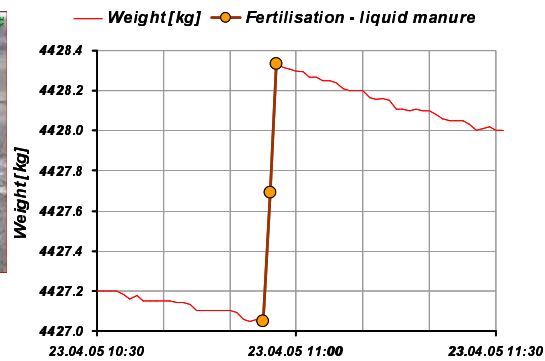


Fig. 2. Water balance for a vegetation period: comparison of two different cropping systems (KON = maize, BIO = clover/grass).



10:55 – 10:57  
 $\Delta \text{ weight} = 1.382 \text{ kg}$   
 $\sim 12.830 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$



**Fig. 3.** Video surveying system to check fertilisation (left) and lysimeter data to quantify the amount applied

## Conclusion and discussion

In Wagna, water balance parameters and crop coefficients are measured at short intervals (mostly every ten minutes). For validating soil water and nutrient transport models, detailed information of tillage and fertilisation applied is also necessary and is monitored. A video surveying systems allows for determining various crop development stages and is also used for checking weather data visually and comparing fertilisation application to lysimeter weight (Fig. 3). Models should be capable of estimating water and nutrient balance parameters which are exactly measured by lysimeters but have to be calibrated on real data and validated regionally before they can be applied for larger areas.

## References

- FANK, J. (2006 a): Modellkalibration anhand von Lysimeterdaten. Wissenschaftliche Tagung 2006 Sektion Lysimeter, Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Heft 10 / 2006, 37-49, Jena.
- FANK, J. (2006 b): Monolithic field lysimeters for precise weighing – a basis for balancing water flow. Proceedings of the international Symposium “Soil physics and rural water management – Progress, needs and challenges“, September 28–29, 2006, 89-92, Vienna / Austria.
- FANK, J. & CH. LANTHALER (2006): Water Flow and Water Transport in Lysimeters – an essential Basis for the Investigation of Solute Transport Processes. Lysimeters for Global Change Research: Biological Processes and the Environmental Fate of Pollutants. GSF – National Research Center for Environment and Health in Neuherberg, October 04 – 06, 2006, Book of Abstracts, 31, Munich.
- FANK, J. & G. ROCK (2005): Tracer Experiments on Field Scale for Parameter Estimation to calibrate Numerical Transport Models. In: NÜTZMANN, G., P. VIOTTI & P. AAGAARD (Eds.): Reactive Transport in Soil and Groundwater - Processes and Models, 239-250, (SPRINGER) Berlin – Heidelberg – New York.
- FANK, J. & G. V. UNOLD (2005): Wägbare monolithische Lysimeter unter maschineller Freilandbewirtschaftung (Wagna – Austria). 11. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen“ vom 5. – 6. April 2005, 55-60, Gumpenstein.
- FANK, J., E. STENITZER, F. FEICHTINGER, P. CEPUDER (2004): Messdaten und Modellkalibration an der Forschungsstation Wagna und daraus abzuleitende Anforderungen an Messstellen zur Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen. In: KLOTZ, D. (Hrsg.): Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern. GSF-Bericht 02/04, 79-86, München.
- WALTER, I. A., R. G. ALLEN, R. ELLIOTT, D. ITENFISU, P. BROWN, M. E. JENSEN, B. MECHAM, T. A. HOWELL, R. SNYDER, S. ECHING, T. SPOFFORD, M. HATTENDORF, D. MARTIN, R. H. CUENCA & J. L. WRIGHT (2005): The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. ASCE-EWRI Task Committee Report. 59 S.

# The Influence of Diffuse Pollution on Groundwater Content Patterns for the Groundwater Bodies of Germany

R. Kunkel\*/F. Wendland\*/S. Hannappel\*\*/H.J. Voigt\*\*\* & R. Wolter\*\*\*\*

\* Research Centre Jülich, Institute for Chemistry and Dynamics of the Geosphere, Jülich, Germany  
(Email: r.kunkel@fz-juelich.de; f.wendland@fz-juelich.de)

\*\* HYDOR Consult GmbH, Berlin, Germany

\*\*\* Dept. of Environmental Geology, Univ. of Technology, Cottbus, Germany

\*\*\*\* Federal Environmental Agency (UBA), Berlin, Germany

## Abstract

Commissioned by Germany's Working Group of the Federal States on Water Problems (LAWA) the authors developed a procedure to define natural groundwater conditions from groundwater monitoring data. The distribution pattern of a specific groundwater parameter observed by a number of groundwater monitoring stations within a petrographical comparable groundwater typology is reproduced by two statistical distribution functions, representing the "natural" and "influenced" component. The range of natural groundwater concentrations is characterized by confidence intervals of the distribution function of the natural component. The applicability of the approach was established for 17 hydrochemical different groundwater typologies occurring throughout Germany. Based on groundwater monitoring data from ca. 26000 groundwater monitoring stations, 40 different hydrochemical parameters were evaluated for each groundwater typology. For all investigated parameters the ranges of natural groundwater concentrations have been identified. According to the requirements of the EC Water Framework Directive (article 17) (WFD) this study is a basis for the German position to propose criteria for assessing a reference state for a "good groundwater chemical status".

## Introduction

The solution content of groundwater is determined by a variety of factors, such as the properties of the vadoze zone and the groundwater bearing rocks as well as the hydrological and hydrodynamical conditions. Apart from these "natural" factors groundwater quality is influenced by anthropogenic inputs mainly from diffuse sources (e.g. agriculture, atmosphere). Whereas some of these inputs (e.g. pesticides) are a direct indicator of human impact, most inorganic contents occurring in the groundwater originate both from natural and anthropogenic sources. This makes it difficult to decide whether the observed groundwater concentration pattern in a certain area is influenced by diffuse pollution intakes or still represents an (almost) natural state.

Because of the omnipresence of human impacts especially in high developed countries like Germany, strictly „natural“ groundwater occurs at best at regionally limited locations. In particular, groundwater from aquifers taking part in the active water cycle (surface-near aquifers), in most cases those aquifers which are also used for water supply, are influenced since decades and centuries by anthropogenic activities, e.g. soil cover induced changes of percolation water quality or fertilizer inputs. In Germany, this situation is true for more than 99% of the Federal territory.

Against this background a pragmatically understanding of the term "natural background value", which considers the human impacts on groundwater to a certain degree as inevitable, needs to be used. Therefore, we define "natural background value" as "the concentration of a given element,

species or chemical substance present in solution which is derived by not significant anthropogenic influenced processes from geological, biological or atmospheric sources". There is still some "mixing" between natural and anthropogenic influences because e.g. groundwater from areas under agricultural use or from areas where land cover changes occurred over the last centuries is regarded as being "natural" (Schenk, 2003). This definition of background" is different to other definitions like geochemical background, ambient or baseline background and pre-industrial background since these terms rely much more to purely natural conditions (Reimann & Garrett., 2005).

Diffuse anthropogenic intakes usually lead to an increase of groundwater solution content. Thus, by looking at a number of groundwater quality data, a number of typical groundwater parameters like Na, K, pH, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> will display raised concentrations. To quantify the influence of diffuse pollution intakes on the groundwater solution concentration patterns, a procedure has been developed, which is able to separate the "natural" groundwater concentration pattern from the influence of diffuse pollution intakes to groundwater. This is done by representing the observed concentration distribution of a certain groundwater parameter by two distribution functions, describing the natural and the influenced component. The natural situation as well as the influence of diffuse pollution is characterized by confidence intervals of the individual distribution function (Wendland et al., 2005).

## Method

Due to the fact that in Germany strictly „natural“ groundwater taking place in the active water cycle is practically not present anymore, the solute content of a typical groundwater is usually affected both by natural and anthropogenic factors. Anthropogenic inputs of a certain substance of content into groundwater lead to a concentration increase of this substance. Because of the variability both of natural and anthropogenic influences it is not possible to separate these two influencing factors just by looking at one single groundwater sample (Schleyer & Kerndorff, 1992). Therefore, it is necessary to evaluate a number of groundwater samples from different locations within a homogeneous hydrogeological unit.

Because of the natural variability concentration measurements of a certain groundwater parameter from a number of sampling point within a homogeneous groundwater unit lead to a concentration distribution. In case no anthropogenic intakes to the groundwater are present, the shape of this distribution is determined exclusively by the natural variability of reactive exchange of groundwater with the aquiferous rocks. Typically, right-skewed asymmetric concentration distributions were observed in these cases. Several statistical tests performed in this study showed that the shape of the concentration profiles can be described by lognormal distributions (Kunkel et al., 2004).

If the whole aquifer is ubiquitarily affected by anthropogenic intakes the concentration profile of a certain parameter is modified. Because the concentration rise of the anthropogenic intakes is independent of the natural solution content of the groundwater, the concentration distribution of the ubiquitarily affected aquifer can be regarded as a result of the convolution of the natural content distribution and the distribution of anthropogenic intakes (Wendland et al., 2005). Compared to the individual contributing concentration distributions the convoluted influenced distribution is broadened and shifted toward higher concentrations. If the evaluated monitoring data contain both natural, i.e. unaffected, and influenced groundwater samples, the observed concentration profile consist of a superposition of these two components. In this case the observed concentration distribution (fobs) can be described as the sum of two distribution functions, representing the natural and the influenced component:

Evaluation of the observed concentration profile allows a separation of the two components and the identification of both the natural and the influenced component. However, the shape of the two distribution functions is not known from a priori. An analysis of the observed concentration patterns using statistical tests show that both component distributions can be satisfyingly expressed by lognormal distributions (Kunkel et al., 2004).

Characterisation of natural groundwater conditions as well as the effects of anthropogenic impacts can be done by any two independent parameters characterizing the distribution function of the components. For the lognormal distribution, median and variance are the most common parameters given. However, these parameters don't give a very transparent measure to specify the groundwater conditions. Therefore, the distribution is characterized by a concentration range defined by the 10% and the 90% percentiles of the concentration distribution.

## Data base

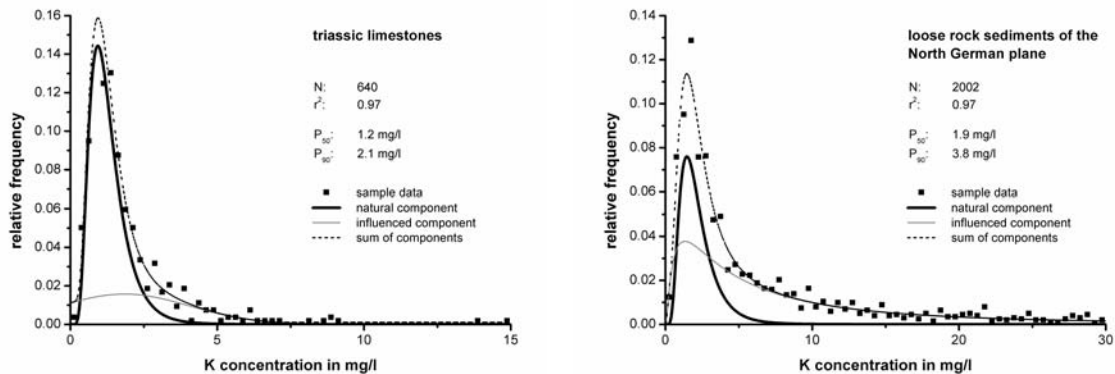
Natural groundwater quality has been derived for 17 lithogenetical different groundwater typologies occurring throughout Germany with high relevance for water supply (e.g. limestones, sandstones, loose-rock sediments). Before assessing natural groundwater concentrations the individual heterogeneous data sets provided by the Federal States needed to be joined together in one data base with unified structure and referenced to the groundwater typologies. In addition, a number of consistency checks, e.g. the elimination of analyses with incorrect ion balances, salt effected stations and elimination of time series by median averaging had to be performed. At the end, a total data from ca. 25000 monitoring stations with one representative groundwater analysis each were used for the analysis (see figure 1). For each of the different groundwater bodies 30 - 40 hydrochemical (inorganic) parameters were evaluated including redox parameters, summary parameters, main substances, adjoining substances and trace elements. The number of evaluated observations for each parameter in each typology was in the range between 5000 and about 25000, allowing a statically relevant analysis.

## Selected results

According to the procedure described above, the ranges of natural groundwater concentrations in the groundwater typologies occurring in Germany were identified for all 30 (-40) parameters. In the following sections selected results for different parameters and different groundwater typologies are presented and discussed.

### Potassium

As an example, fig 2 shows the potassium concentrations in the triassic Limestones and the loose rock sediments of the North German plane (depths < 10 m). In both cases the observed distributions consist of one peak at about the same concentration (~2 mg K/l). The width of the distributions, however, is quite different: the potassium concentration range in the loose rock sediments is almost twice the range of the triassic limestones K-concentrations.



**Fig 2:** Observed frequency distributions as well as the natural and influenced components of the potassium concentrations in the triassic limestones (left) and the loose rock sediments of the North German plane (right).

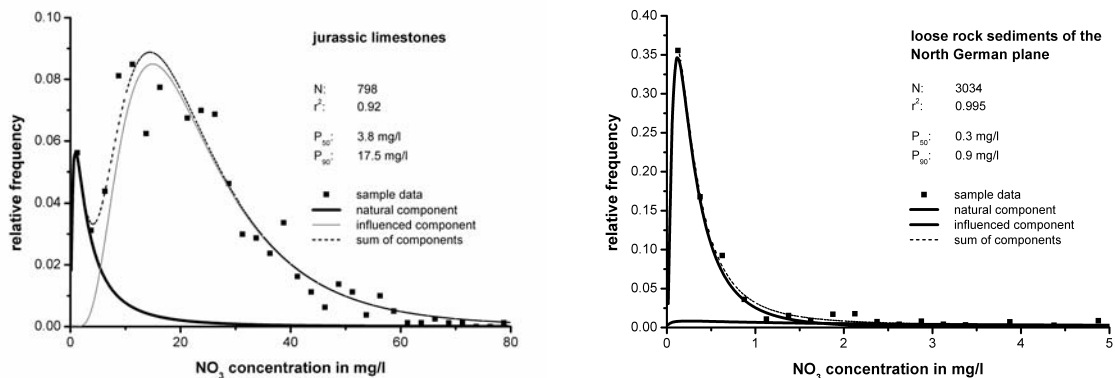
As can be seen from the correlation coefficients ( $r^2 \sim 0,97$ ), the observed concentration distributions can be separated very satisfyingly into a natural and influenced component. As a typical behaviour, obtained also for most other evaluated hydrochemical parameters (e.g. Na, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, DOC), the natural component is dominating while the influenced component contributes as a broad background.

The natural groundwater component of the potassium concentration distribution in the triassic limestones shows a relatively small scatter in the range between 0.6 and 2.1 mg K/l. This can be addressed to the lack of potassium containing minerals. An influenced component is obvious in a broad, high concentration range. This indicates the impact of potassium containing fertilizers, which has also been confirmed by regional water authorities.

The range of the natural potassium concentrations in the groundwater of the loose rock sediments is broader compared to the natural groundwater concentrations in the Triassic limestones, which is a consequence of the more heterogeneous minerals in this typology. The portion of the influenced component is relatively high. Here two natural factors, i.e. the rise of the high mineralized waters from deeper aquifers and the influence of sea water intrusion in the north and the western part of the groundwater unit as well as one anthropogenic factor, the impact of potassium containing fertilizers are determinative.

### Nitrate

Compared to the other groundwater parameters evaluated in this study, nitrate is an exception. The geogenic fraction of nitrate in groundwater is low. The reason for this is that all nitrate minerals are very water soluble, so that in the course of geological history no nitrate rocks were formed from which nitrate could be solved by circulating water. The most important source of nitrate in groundwater are fertilizers and to a minor extent atmospheric nitrate inputs. Many studies have shown, that nitrate concentrations above 5 mg NO<sub>3</sub>/l are a reliable indication of anthropogenic influences.



**Fig 3:** Observed frequency distributions as well as the natural and influenced components of the nitrate concentrations in the Jurassic limestones (left) and the loose rock sediments of the North German plane (right).

Figure 6 shows the observed nitrate concentrations distributions in the Jurassic limestones and the loose rock sediments of the North German plane. The nitrate concentrations in the Jurassic limestones cover a wide range between 0 and about 80 mg NO<sub>3</sub>/l. Two widespread components may be identified. Even the natural display relatively large concentrations, which is due to the presence of typically oxidized groundwater conditions, The second, influenced, component dominates the observed concentration pattern and reaches to concentrations up to 75 mg NO<sub>3</sub>/l. This behavior can be addressed to the presence of groundwater conditions, which are mostly

influenced by nitrate inputs from agriculture. Nevertheless, it can be concluded that natural nitrate concentration below about 20 mg NO<sub>3</sub>/l can be regarded as being natural for this groundwater typology.

In other groundwater typologies, however, nitrate can be degraded to molecular nitrogen by microbial controlled redox-reactions. If a groundwater is largely free of dissolved oxygen, certain micro organisms are able to satisfy their oxygen demand by reducing nitrate. An important prerequisite for this reaction is the presence of organic carbon compounds or pyrite (FeS<sub>2</sub>) in the aquifer acting as reducing substances. As could be shown by the example of the iron concentration distributions, this hydrochemical groundwater condition may occur in the loose rock sediments of the North German plane. The observed nitrate concentrations show that a component at very small concentrations dominates the observed concentration pattern by far. As most of the samples fall into the lowest class it may be tempting to conclude that the groundwater in these aquifers is almost free from anthropogenic nitrate inputs, thus representing “natural” groundwater concentrations.

However, this interpretation is misleading. Due to denitrification processes in reduced aquifers, it may be possible that a groundwater appears to be almost nitrate free, although the nitrate inputs with the percolation water were high. Hence, the range of nitrate contents in the Loose Rock Sediments of the Saale Glaciation reflects on the hydrogeochemical conditions in the aquifer, which result in “natural” nitrate concentrations below 1 mg NO<sub>3</sub>/l.

## Discussion and Conclusions

Natural groundwater concentrations were defined for groundwater typologies occurring in Germany, i.e. groups of aquifers, which were regarded as homogenous according to their petrographical and hydrodynamical properties using a large number of groundwater monitoring data provided by the Federal States of Germany. The basic approach of separating the natural and influenced component from observed groundwater concentration distributions based on statistical distribution functions was applied consistently to 30-40 investigated groundwater parameters in the investigated groundwater typologies.

It could be shown, that the natural groundwater concentration ranges differ considerably amongst the investigated groundwater typologies, reflecting the different properties of the vadose zone and the groundwater bearing rocks as well as the hydrological and hydrodynamic conditions. The study showed that natural groundwater concentrations should not be defined based on fixed threshold values as being “valid for the whole groundwater“. Instead, the results of the study showed the importance to assess natural groundwater concentrations according to individual groundwater typologies. In this sense, this study contributes to the definition of the “good groundwater chemical status” according to the requirements of the EC WFD.

## References

- KUNKEL, R., VOIGT, H. J., WENDLAND, F. AND HANNAPPEL, S. (2004): *Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland*. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Vol. 47, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Germany.
- REIMANN, C. & GARRETT, R. G. (2005): Geochemical background: Concept and reality. *Science of the Total Environment* **350**, 12–27.
- SCHENK, V. (2003): Natürliche Grundwasserbeschaffenheit. Definition und Abgrenzung gegen verwandte Begriffe. *Grundwasser*, **8** (2), 122-124, Hannover.
- SCHLEYER, R. & H. KERNDORFF (1992): *Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen*. Verlag VCH, 245 S., Weinheim.
- WENDLAND, F., HANNAPPEL, S., KUNKEL, R., SCHENK, R., VOIGT, H. J. & WOLTER, R. (2005): A procedure to define natural groundwater conditions of groundwater bodies in Germany. *Water Science and Technology* **51**(3-4), 249–257.

# Denitrification in Groundwater – Results from Investigations in two Austrian Case Study Regions

Christian Schilling<sup>1</sup>, Matthias Zessner<sup>1</sup>, Alfred Paul Blaschke<sup>2</sup>, Jon Olav Skøien<sup>2</sup>, Dieter Gutknecht<sup>2</sup>, Helmut Kroiss<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Water Quality, Resources and Waste Management; Vienna University of Technology; Karlsplatz 13/226; A-1040 Vienna

<sup>2</sup>Institute for Hydraulic and Water Resources Engineering; Vienna University of Technology

## Abstract

In frame of the daNUbs project (EVK1-CT-2000-00051) investigations were carried out in two selected Austrian case study regions, the Ybbs catchment and the Wulka catchment. Denitrification in groundwater could be observed based on nitrogen surplus assessments in relation to groundwater and surface water quality observations. Differences between the selected case study regions in respect to nitrogen fluxes and denitrification activity could be attributed to hydrogeological circumstances, which were characterised by water balance calculations using the conceptual SWAT 2000 model. Using the empirical emission model MONERIS the total nitrogen emissions were calculated for both case study areas with consideration of the individual emission pathways.

An approach was developed for the calculation of diffuse nitrogen emissions to surface water with consideration of denitrification processes in the groundwater based on calculated groundwater residence times. This approach enabled the identification of catchment areas, which are responsible for most of diffuse nitrogen emissions to the surface water and which are therefore highly sensitive in terms of controlling diffuse nitrogen emissions to the receiving coastal waters of the Black Sea. These areas could be clearly distinguished from areas, which are important for local groundwater protection and revealed the contrarious effects of measures related to specific protection goals with focus on either the reduction of nitrogen levels in groundwater or the reduction of nitrogen emissions to surface waters.

Keywords: denitrification in groundwater, water balance, nitrogen emissions, groundwater residence time

## Introduction

In the second half of the past century, bioavailability of nitrogen due to fertilizer application in terrestrial ecosystems increased considerably. Advancements in agricultural and residential development resulted in serious ecological problems by massive point and diffuse loads of nitrogen (and phosphorus) to groundwater and surface waters. Oxygen depletion and excessive algae blooms (eutrophication) in surface and coastal water bodies were recognised (Mee 1992) and raised the awareness and the necessity for a sustainable management of nutrient sources. To derive measures for an effective management of nitrogen (and phosphorus) emissions from catchments, the main sources of emissions and the emissions pathways to the surface waters have to be identified with consideration of all transformation and retention processes at the catchment scale.

The daNUbs project (EVK1-CT-2000-00051) focussed on the identification of the main sources and pathways of nitrogen and phosphorus emissions from subcatchments and their impacts on the Western Black Sea. In frame of the daNUbs project, investigations were carried out in two Austrian



case study regions, the Ybbs and the Wulka catchment. Both catchments were selected forwards representing different conditions within the Austrian part of the Danube basin in terms of climate, hydrology, geology and land use practises. Water and nutrient balance calculations were performed using different models. Since in-situ measurements of denitrification rates in soil and groundwater are highly uncertain, denitrification in groundwater can be identified establishing nitrogen balances at the catchment scale. That denitrification in groundwater is an important process reducing diffuse nitrogen loads to surface waters significantly, could be shown using groundwater and surface water quality data for both catchments and will be presented in this paper. As a consequence, reflection of denitrification processes in groundwater in modelling approaches estimating nitrogen emissions to surface waters is a requirement for correct estimations at the catchment scale.

## Methods

Groundwater and surface water quality was observed in the Ybbs and the Wulka catchment for the period 2001-2003. Additionally, existing observations from the beginning of 1994 were used to evaluate the groundwater and surface water quality in terms of nitrogen transformation and transport at the catchment scale.

Water balance calculations were performed using the conceptual continuous time model SWAT 2000 (Arnold et al. 1999). Mean water balances were calculated with daily time step on the subcatchment level for the period 1992-1999 and 1991-2000, for the Wulka catchment and the Ybbs catchment respectively. Emphasis was on identification of main water balance components in respect to morphological and climatic conditions as well as on individual catchment-specific contribution of runoff components to the river discharge.

Nitrogen emissions from both catchments were calculated using the empirical emission model MONERIS (Behrendt et al. 1999) with focus on identification of main emission pathways. Calculated total nitrogen emissions to the surface waters were compared to calculated loads from nitrogen surplus and to observed nitrogen in-stream river loads to identify nitrogen losses in groundwater and surface water by denitrification.

Groundwater residence time distributions were calculated based on a modified approach (Tarbaton 1997) for the determination of flow directions from DEM. Using this approach, nitrogen emissions by groundwater to the surface water with consideration of denitrification processes could be estimated at the catchment scale for the Ybbs and the Wulka catchment.

## Results and discussion

Groundwater observation wells have been grouped in respect to their distances to the surface water. Following the groundwater flow along the flowpath towards the surface water, total inorganic nitrogen (TIN) concentrations in groundwater decreased significantly from areas with large distances to the surface water (>100m distance) towards riparian, surface water near groundwater (<100m distance) (see Table 1) in both catchments. Further decreasing TIN concentrations were observed from riparian groundwater to the concentrations, which were observed in surface water.

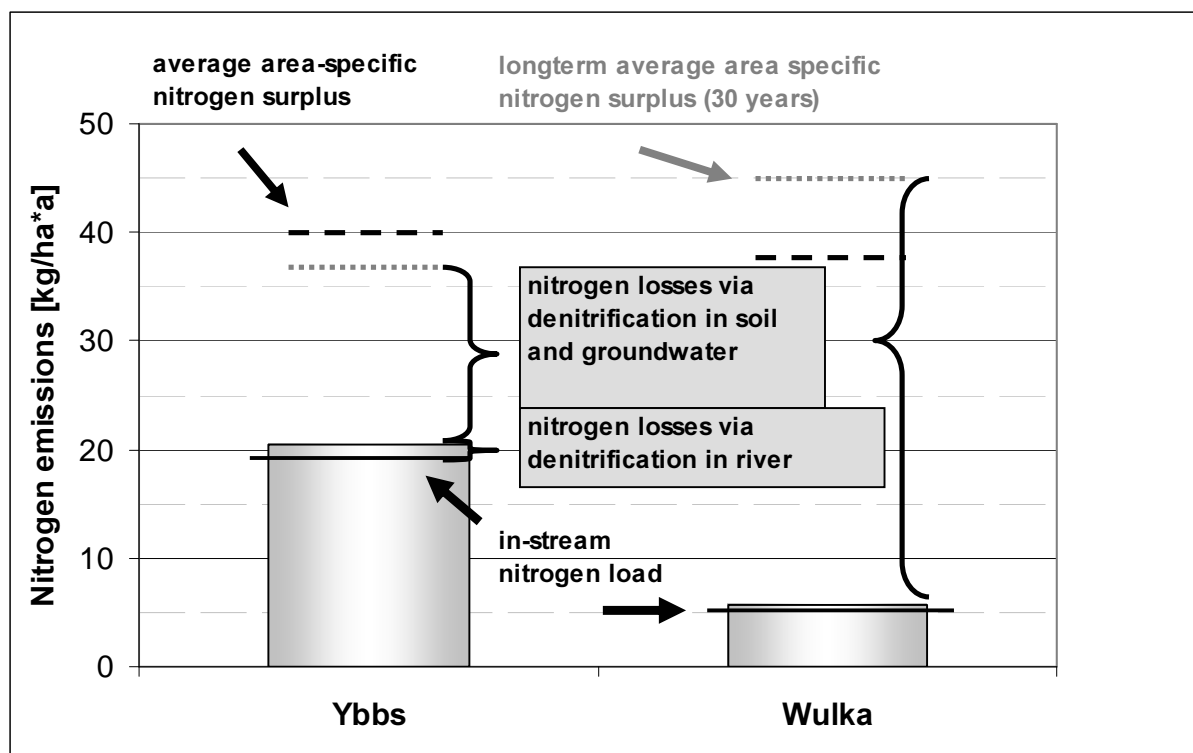
**Table 1:** Observed mean total inorganic nitrogen (TIN) and chloride (Cl) concentrations in groundwater and surface water of the Ybbs and the Wulka catchment (1994-2003)

Location of observation point	YBBS		WULKA	
	TIN [mgN/l]	Cl [mg/l]	TIN [mgN/l]	Cl [mg/l]
Groundwater wells with >100m distance to surface water	7.0	9.9	22.3	56
Groundwater wells with <100m distance to surface water	2.4	7.2	7.4	48
Surface water	1.4	3.6	5.6	50

Since observed chloride concentrations of the Wulka catchment remained constant, decreases in TIN concentrations from groundwater to surface water can be attributed to denitrification in groundwater and partly in surface water. For the Ybbs catchment, chloride concentrations decreased from groundwater to surface water as well indicating reduction in TIN levels beside denitrification in groundwater (and surface water) by dilution with surface water low in TIN levels from upstream catchment areas.

Generally, TIN and chloride levels in groundwater and surface water of the Ybbs catchment were considerably lower (Table 1) compared to those observed in the groundwater and surface water of the Wulka catchment. Water balance calculations indicated remarkable differences in mean annual precipitation and groundwater recharge between the Ybbs catchment ( $1377 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  and  $494 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ) and the Wulka catchment ( $699 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  and  $118 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ). Elevated annual groundwater recharge in the Ybbs catchment results in dilution of nitrogen concentrations in percolation water as well as in lower substrate availability (nitrate) for subsurface denitrification (compared to the Wulka catchment). Additionally, groundwater residence time in the Ybbs catchment is assumed to be considerably lower due to larger subsurface specific discharges.

Load calculations and emission estimations supported these assumptions. Despite lower TIN levels in groundwater, due to larger groundwater recharge and river discharge nitrogen emissions to the surface water of the Ybbs catchment exceeded the calculated emissions to the surface water of the Wulka catchment approximately by factor 4 (see Figure 1, grey bars). Since both catchments are characterised by almost equal area-specific nitrogen surpluses, nitrogen losses in soil and groundwater of the Wulka catchment by denitrification are considerably higher.



**Figure 1:** Calculated nitrogen emissions to surface water using the MONERIS model for the Ybbs and the Wulka catchment

Differences between calculated nitrogen emissions to surface water and observed in-stream nitrogen load indicated nitrogen losses via denitrification in river (Figure 1), what is compared to denitrification in soil and groundwater of minor importance in both catchments.

Calculated groundwater residence time distributions for selected parts of both catchments confirmed, that the Ybbs catchment is characterised in average by noticeably shorter groundwater residence times in comparison to the Wulka catchment. This fact gave evidence that also

denitrification in groundwater of the Ybbs catchment is lower as denitrification in groundwater of the Wulka catchment. For both catchments it could be shown, that particularly areas with short distances to the surface water (and low (<9...10 years) groundwater residence times) are responsible for most of the nitrogen emissions (>90% of total nitrogen emissions), which are emitted by groundwater to the surface water.

## Summary and conclusions

Investigations in the Ybbs and the Wulka catchment provided information about comprehensive connections between catchment hydrology and morphology, observable concentration levels in groundwater and surface water and consequently, the magnitude of emission being contributed to surface waters. Denitrification in groundwater could be observed in both catchments, but site specific denitrification in groundwater is a function of local environmental conditions and differs considerably between the Ybbs and the Wulka catchment. Groundwater residence times are the result of hydrological and hydrogeological conditions and largely determine nitrogen fluxes through biologically active micro sites, in which conditions are favourable for denitrification to prevail.

Using modelling approaches to estimate nitrogen emissions at the catchment scale, denitrification in groundwater is a crucial process determining the level of diffuse nitrogen emissions to surface waters, and therefore it has to be considered and implemented in modelling approaches conveniently. Knowing about the spatially diverse contributions of catchment areas to diffuse nitrogen emissions to surface waters, strategies can be derived to sustainably manage agricultural areas without affecting surface water nitrogen loads. In contrast, particularly areas under agricultural use and with large distances to surface waters are highly vulnerable in respect to elevated nitrogen concentrations in groundwater. So, sustainable management of catchment areas has to take into account both aspects of water protection depending on protection goals focussing either on groundwater and/or on surface water protection.

## Acknowledgements

Results presented stem from the project "Nutrient Management in the Danube Basin and its Impact on the Black Sea" (daNUbs) supported under contract EVK1-CT-2000-00051 by the Energy, Environment and Sustainable Development (EESD) Programme of the 5th EU Framework Programme. Details about the project can be found on the project homepage: <http://danubs.tuwien.ac.at/>.

## References

- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. and Allen, P. M. (1999). "Continental scale simulation of the hydrologic balance." *Journal of the American Water Resources Association* **35**(5): 1037-1051.
- Behrendt, H., Huber, P., Opitz, D., Schmoll, O., Scholz, G. and Uebe, R. (1999). *Nutrient Emissions into River Basins of Germany*, Texte 23/00, Umweltbundesamt Berlin.
- Mee, L. B. (1992). "The Black Sea in crisis." *Ambio* **21**: 278-286.
- Tarbaton, D. (1997). "A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models." *Water Resources Research* **33**(2): 309-319.

# Transport of Solutes in the Transition Zone of Saturated and Unsaturated Underground

Th. Reimann\*, R. Liedl\*, W. Walther\*\*

\* TU Dresden  
Institute for Groundwater Management  
01062 Dresden - Germany  
Thomas.Reimann@tu-dresden.de

\*\* Wasser.Fall  
Rolandstrasse 41  
31137 Hildesheim - Germany  
walther.hildesheim@t-online.de

## Zusammenfassung

Strömungs- und Transportprozesse im Übergangsbereich zwischen ungesättigter und gesättigter Zone haben Einfluss auf die Beschaffenheit des Grundwassers. Zusätzlich weist auch das oberflächennahe Grundwasser eine erhöhte Gassättigung auf. Der gesamte Übergangsbereich nimmt damit eine Sonderstellung hinsichtlich der hydraulischen Eigenschaften ein und stellt einen aktiven Reaktionsraum dar. Bisher sind die relevanten Prozesse nur teilweise bekannt. So sind in der jüngeren Literatur Untersuchungen u.a. zu folgenden Phänomenen dokumentiert:

- horizontale Verlagerung im Kapillarsaum,
- verringerte Fliessgeschwindigkeit im oberflächennahen Grundwasser,
- Einfluss geologischer Heterogenitäten auf das Fließ- und Speicherverhalten sowie
- erhöhtes Stoffumsatzpotential im Übergangsbereich.

Mit der vorhandenen Messtechnik sind die Prozesse nur eingeschränkt oder mit hohem Aufwand zu erfassen. Daraus resultiert, dass der Einfluss des Übergangsbereichs bei der Bewirtschaftung von Grundwasserkörpern weitestgehend vernachlässigt wird (RONEN und SOREK 2005).

Der Beitrag fasst den aktuellen Stand zu den Strömungs- und Transportprozessen im Übergangsbereich zusammen. Anhand schematischer Modellstudien wird dessen Bedeutung für die Beschaffenheit des Grundwassers verdeutlicht. Mit den Ergebnissen der Modellierung kann quantifiziert werden, welchen Einfluss die Prozesse haben. Daneben werden mit den Modellen verschiedene Arten der Probenahme untersucht, um abzuschätzen, inwieweit mit diesen die Prozesse im Übergangsbereich zuverlässig erfasst werden können.

## Fluid flow and transport within the saturated - unsaturated interface region

### Object of investigation

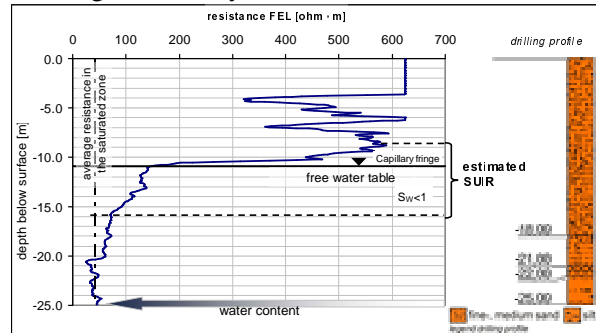
The input of substances affecting groundwater quality predominantly occurs through the upper surface of the groundwater body which is embedded in an interface region between the unsaturated and saturated covering an area of approximately  $130 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  worldwide (RONEN and SOREK 2005).

**Above** the phreatic water table the capillary fringe is localised. It is associated with higher water saturation than the remaining vadose zone. Quantitatively, the extension of the capillary fringe is a function of the capillary forces between water and soil matrix, which increase with decreasing grain size. Therefore the capillary fringe ranges in the field roughly from two centimetres for gravel up to four meters for clay.

**Below** the phreatic water table a significant amount of gas (trapped air) is recognized by a few actual studies (RONEN et al. 2000). Possible reasons for this situation are groundwater table fluctuations as well as gas production due to microbiological activity.

Therefore the characteristics of the upper part of the aquifer differ from the fully saturated region (e.g. hydraulic conductivity, degradation potential). In order to simultaneously address both the capillary fringe as well as the upper layer of the phreatic aquifer the term Saturated-Unsaturated Interface Region (SUIR) was created (RONEN et al. 2000).

Fig. 1 shows the existence of the SUIR in the field (Northern Germany; sandy gravel sediments with silt inclusions). From this the SUIR could be estimated to extend from roughly five meters below to one meter above the free water table.

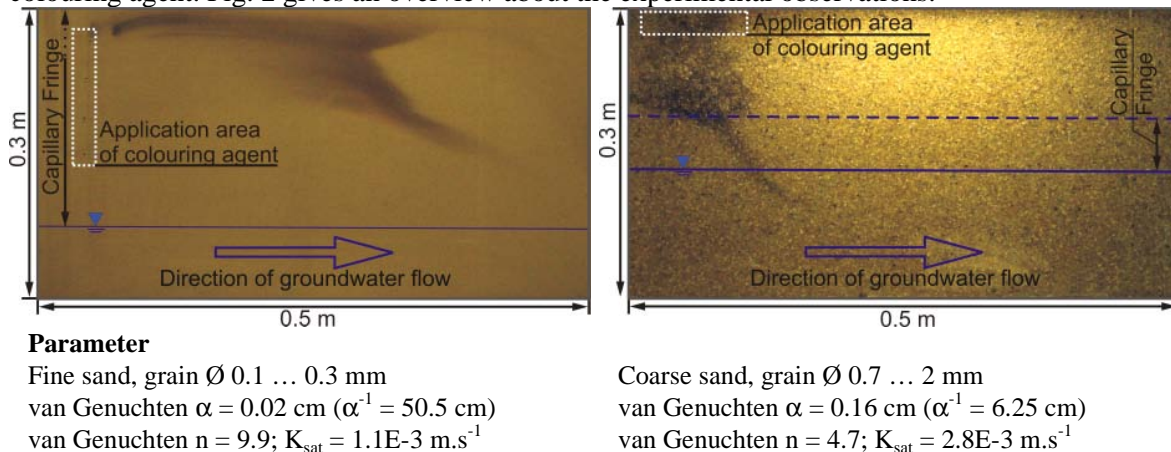


**Fig. 1:** Geophysical observation from a drilling event (Northern Germany; sandy gravel sediments with silt inclusions); the resistance FEL is a value for the water content / Geophysikalische Untersuchung an einer Bohrung in Lockersediment, FEL ist ein Mass für den Wassergehalt

## Hydraulic and transport processes - state of the art

Flow of water and transport of substances is commonly conceptualised to be predominantly in vertical downward direction in the vadose zone and predominantly in some horizontal direction in the saturated zone. The influence of the SUIR on flow and transport processes is almost neglected in literature and textbooks (BERKOWITZ 2004).

**Flow** within the SUIR can be understood via multiphase hydraulics involving water and air as fluids. To identify lateral flow processes, experiments in a 2D laboratory tank (0.5 m x 0.3 m x 0.1 m; see Fig. 2) were conducted. With two constant head boundary cells on the left and right side of the tank, a gradient of about 0.01 [-] was established - corresponding groundwater flow velocity was about 0.5 m.d<sup>-1</sup>. To visualize lateral flow processes in the capillary fringe region we used a colouring agent. Fig. 2 gives an overview about the experimental observations.



**Fig. 2:** 2D laboratory tank experiments to visualize lateral flow within the SUIR / 2D Gerinneversuche visualisieren laterale Fließvorgänge im Kapillarsaum

Experimental results lead to the conclusions that

- there is a significant lateral flow component in the capillary fringe (see Fig. 2 - left)
- local heterogeneities strongly influence the flow paths (see Fig. 2 - right)
- the flow behaviour within the SUIR strongly depends on sediment characteristics.

STEJSKAL and ZEEMAN (2006) demonstrated with a large scale flow cell (10.4 m x 0.6 m x 1.0 m), that lateral transport of substances within the capillary fringe could accomplish a high range up to several meters. SILLIMAN (2002) also confirmed upward vertical flow with laboratory tank experiments. This contradicts the actual state of art reflected in literature. Additional hysteresis as well as water and gas storage due to capillary barriers (DUNN et al. 2005) affect transport processes. The SUIR region can be concluded to act as a 3D flow and transport domain above the water table (RONEN and SOREK 2005).

Regarding **transport** processes transverse dispersion is most relevant. Dispersivities in the capillary fringe region were larger than in the fully saturated aquifer due the entrapped gas which enlarged the tortuosity of flow paths. References in literature indicate an increasing decomposition capacity in the SUIR, which is proven by enhanced concentration of degradation products e.g. N<sub>2</sub>O or CO<sub>2</sub> (AFFEK, 1998).

From these remarks the influence of the SUIR on mass transfer is obvious. Water table fluctuations combined with the hysteretic behaviour as well as the flow behaviour will strongly influence the mass transfer across the SUIR. Based on its specific characteristics (existing gas phase, gas exchange, high water saturation) the SUIR constitutes a biologically and geochemically active zone in the subsurface (RONEN and SOREK 2005).

## Impact of the SUIR on water quality

A short comprehension of SUIR impacts on water quality is given above. The impact of the SUIR on water quality is demonstrated in this section by numerical experiments. Based on the results, requirements for measurement techniques are highlighted.

For the numerical simulation of flow processes in the capillary fringe the code Hydrus2D (Richards-equation) seems appropriate (SILLIMAN et al. 2002). Furthermore, we use a groundwater model (Modflow) to study the influence of the SUIR on groundwater quality.

A 200 meter long cut-out of a fictitious aquifer is parameterised with regard to field conditions for a typical north German glacial aquifer. The model considers two types of land use, agriculture (from  $x = 0 \dots 50$  m) and forest (from  $x = 50 \dots 200$  m). Nitrate, which is chosen because of its high practical relevance, is added at the agriculturally used area ( $300 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). The SUIR is represented by:

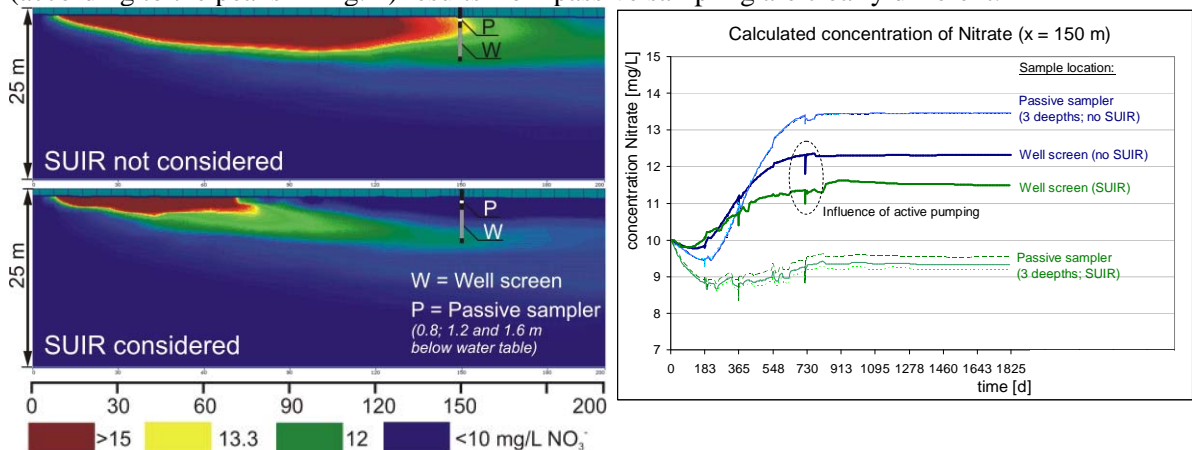
- horizontal relocation of substance source because of lateral flow above phreatic water table,
- reduced mass input to the aquifer due to degradation in the capillary fringe,
- reduced hydraulic conductivity in the upper groundwater layer,
- enhanced degradation potential in the upper groundwater layer,
- enhanced transverse dispersivity in the upper groundwater layer.

The model investigations show the influence of the SUIR on water quality (see Figs. 3, 4). For the selected case study the processes in the boundary area between the vadose zone and the aquifer clearly reduce nitrate concentration (approximately one third, see Fig. 4).

Furthermore, the demand on measurement techniques is outlined which is necessary to observe these processes. There are two ways to achieve water from the region below the phreatic water table - active and passive sampling. Regarding active sampling, VARLJEN et al. (2006) demonstrate for low flow purging that the actually monitored zone exceeds the screened area. Also they show a very large increase of inflow to the well adjacent to soil layers with enlarged permeability. These effects can be assumed to be even more enhanced in the SUIR due to its highly complex hydraulic behaviour. For SUIR related investigations a high vertical measurement resolution is necessary because of spatial variations of hydraulics, reaction potential and metabolism.

Based on the existing numerical groundwater model, different sampling techniques could be evaluated regarding their influence on obtained concentration. Therefore, an observation well is included in the model. The pumping schedule (sampling) corresponds to purging twice a year for three hours with a rate of  $3 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ . The results clearly show the evidence for finely discretised

passive sampling, see Fig. 4. Compared with the values obtained with conventional sampling (according to the peaks in Fig. 4) results from passive sampling are clearly different.



**Fig. 3:** 2D numerical groundwater model to investigate the influence of the SUIR on groundwater quality / Numerisches 2D Grundwassermodell zur Untersuchung des Einflusses des SUIR auf die Wasserbeschaffenheit

**Fig. 4:** Numerically calculated concentrations for Nitrate with and without consideration of the SUIR/ Numerisch berechnete Nitratkonzentrationen mit und ohne Berücksichtigung des SUIR

## Conclusion

The SUIR represents a highly active 3D flow and transport region which considerably influences groundwater quality. Due to limitations of existing monitoring techniques the processes cannot be adequately observed. Passive groundwater sampling seems to be more appropriate than purging because the highly sensitive flow regime is not affected. Technically, the use of dialysis cells in a multi-layer sampler seems to be a feasible monitoring approach to analyse groundwater quality (PULS and PAUL 1997). Further laboratory and field investigations regarding this topic are necessary to achieve rewarding process understanding.

## References

- AFFEK, H. P., RONEN, D., YAKIR, D. (1998): Production of CO<sub>2</sub> in the capillary fringe of a deep phreatic aquifer In: Water Resources Research, 34. Jg. (1998), H. 5, PP. 989-996.
- BERKOWITZ, B., SILLIMAN, E., DUNN, A. (2004): Impact of the Capillary-Fringe on Local Flow, Chemical Migration, and Microbiology In: Vadose Zone Journal, Jg. 2004, H. 3, pp. 534-548.
- DUNN, A., SILLIMAN, S. E., DHAMWICHUKORN, S., KULPA, Ch. F. (2005): Demonstration of microbial transport into the capillary fringe via advection from below the water table In: Journal of Hydrology, Jg. 2005, H. 306, pp. 50-58.
- PULS, R. W., PAUL, C. (1997): Multi-layer sampling in conventional monitoring wells for improved estimation of vertical contaminant distribution and mass In: Journal of Contaminant Hydrology, 25. Jg. (1997), pp. 85-111.
- RONEN, D., SCHER, H., BLUNT, M. (2000): Field observations of a capillary fringe before and after rainy season In: Journal of Contaminant Hydrology, 44. Jg. (2000), pp. 103-118.
- RONEN, D., SOREK, S. (2005): The unsaturated zone - a neglected component of nature Aus: Nützmänn (Hrsg.): Reactive Transport in Soil and Groundwater Berlin, Heidelberg (Springer) 2005, pp. 3-15.
- SILLIMAN, E., BERKOWITZ, B., SIMMUNEK, J., VAN GENUCHTEN, M.T. (2002): Fluid Flow and Solute Migration within the Capillary Fringe In: Ground Water, 40. Jg. (2002), H. 1, pp. 76-84.
- STEJSKAL, M., ZEMAN, J. (2006): Large scale physical model on transport within a capillary fringe: submitted to Ground Water.
- VARLJEN, M. D., BARCELONA, M. J., Obereiner, J., KAMINSKI, D. (2006): Numerical Simulations to Assess the Monitoring Zone Achieved during Low-Flow Purging and Sampling In: Ground Water Monitoring and Remediation, 26. Jg. (2006), H. 1, pp. 44-52.

**Block IV Perspektiven zur Erfassung und Modellierung von Parametern des Wasser- und Stoffkreislaufs/  
Outlook on Measuring and Modelling Parameters of the Hydrologic Cycle**

**Session 5 Modellierung von Bodenwasserhaushalt und Stofftransport - Konzepte und Perspektiven/  
Modelling of Soil Water Budget and Solute Transport - Concepts and Perspectives**

**Durner, Wolfgang (TU Braunschweig), U. Jansen, S. C. Iden**

Determination of Effective Parameters for Modelling Water Transport on the Lysimeter Scale

**Jansen, Ulrike (TU Braunschweig), W. Durner:**

Modelling of Soil Water and Solute Transport on the Lysimeter Scale

**Böttcher, Norbert (TU Dresden), T. Reimann, J. Fank**

Ansätze zur Modellierung der Wasserhaushaltskomponenten und des Stickstoffumsatzes in Lysimetern mit dem Modellpaket „Coupmodel“

**Stenitzer, Elmar (Federal Agency for Water Management, Institute for Land and Water Management Research, IKT Petzenkirchen/BAW), J. Fank:**

“Tension-free“ Lysimeters versus “Controlled Tension“ Lysimeters – a Simulation Study

**Heuer, Antje (Universität Trier), M. Casper:**

Konzept zur flächenhaften Umsetzung von Boden-Pflanze-Atmosphäre-Modellen (SVAT-Modellen)

**Pätsch, Matthias (DHI Wasser & Umwelt GmbH), W. Walther:**

Heterogenität des Abbaus von Nitrat im Grundwasser – Berücksichtigung bei der Modellierung

**Alletto, Lionel (Ecole Supérieure d’Agriculture de Purpan, Toulouse), Y. Coquet, C. Labat:**

Fate of Isoxaflutole and its Diketonitrile Metabolite under Conventional and Conservation Tillage in an Irrigated Continuous-Maize Field

**Pütz, Thomas (FZ Jülich), H. Rützel, H. Vereecken:**

Validierung der Sickerwasserprognose mit den Materialien Hausmüllverbrennungsgasche, Abbruchmaterial und PAK-belastetem Boden in Großlysimetern



# Determination of Effective Parameters for Modeling Water Transport on the Lysimeter Scale

W. Durner/U. Jansen/S.C. Iden

Braunschweig Technical University  
Institute of GeoEcology –  
Soil Science and Soil Physics  
Langer Kamp 19c  
D-38106 Braunschweig – Germany

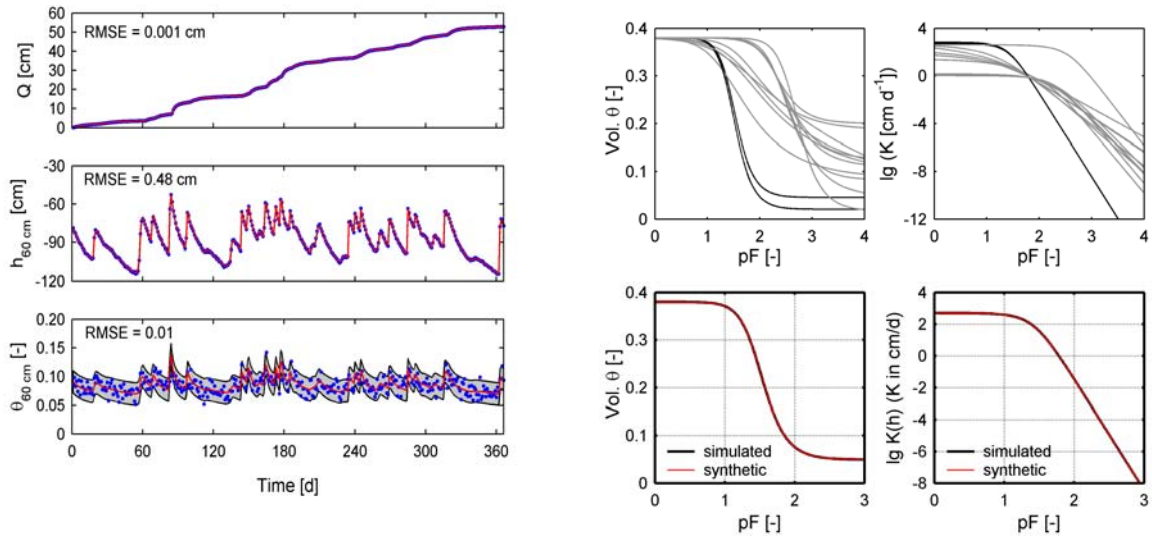
## Zusammenfassung

Die Auswertung von instationären Fließexperimenten an Laborsäulen durch inverse Modellierung mit Hilfe numerischer Simulation bewährt sich zunehmend als genaue und schnelle Methodik zur Gewinnung von hydraulischen Parametern. Die Anwendung dieser Methodik auf der Feldskala ist jedoch noch wenig erforscht. Offene Fragen ergeben sich insbesondere für große Bodenkörper, die intern heterogen aufgebaut sind. Dies betrifft die Existenz, die Eindeutigkeit, die geeigneten Funktionstypen und die Unsicherheiten der effektiven hydraulischen Eigenschaften. Zur näheren Untersuchung dieser Fragen bieten sich Lysimeterstudien an. Der entscheidende Vorteil im Vergleich zum freien Bodenkörper liegt darin, dass in Lysimetern die Randflüsse genau kontrolliert werden können. Unsere Studie zeigt, dass unter Einsatz von effizienten und modernen Computercodes zur direkten Lösung der Transportgleichungen sowie robusten Algorithmen zur Parameter-Schätzung hydraulische Eigenschaften aus Lysimeterexperimenten unter natürlichen Randbedingungen identifiziert werden können.

## Introduction

A proper characterization of water flow processes is needed in nearly all basic and applied aspects of soil, water, nutrient, and salinity management research. Water flow in soils is typically described with the Richards equation, which contains the water retention curve and the hydraulic conductivity curve as constitutive relationships. The Richards equation is valid on a scale of  $10^{-2}$  to  $10^{-1}$  m, which we may call the measurement scale (Durner and Flühler, 2005), but frequently applied as process model for water transport at much larger scales. The retention curve and conductivity function are then used as *effective* properties. The often very large variability of the soil hydraulic properties in space is accordingly replaced by the assumption of homogeneity. Due to the non-linearity of the flow equation, averaging non-linear properties gives mean properties that are not identical to the “effective” properties. For the general case, it is not clear whether effective properties exist at all. If they exist, questions arise with respect to their general shape in relation to the local properties (e.g. van Genuchten/Mualem functions). A methodology to investigate the problem is to determine the hydraulic properties directly on the scale of interest by inverse modeling.

The aim of this paper is to investigate the identification of effective hydraulic properties of homogeneous and layered soil systems on the lysimeter scale. To answer these questions, feasibility studies based on synthetic data are performed. In a companion paper (Jansen and Durner, this issue), the methodology is used to investigate real measured data of the lysimeter station Wagna in Austria.



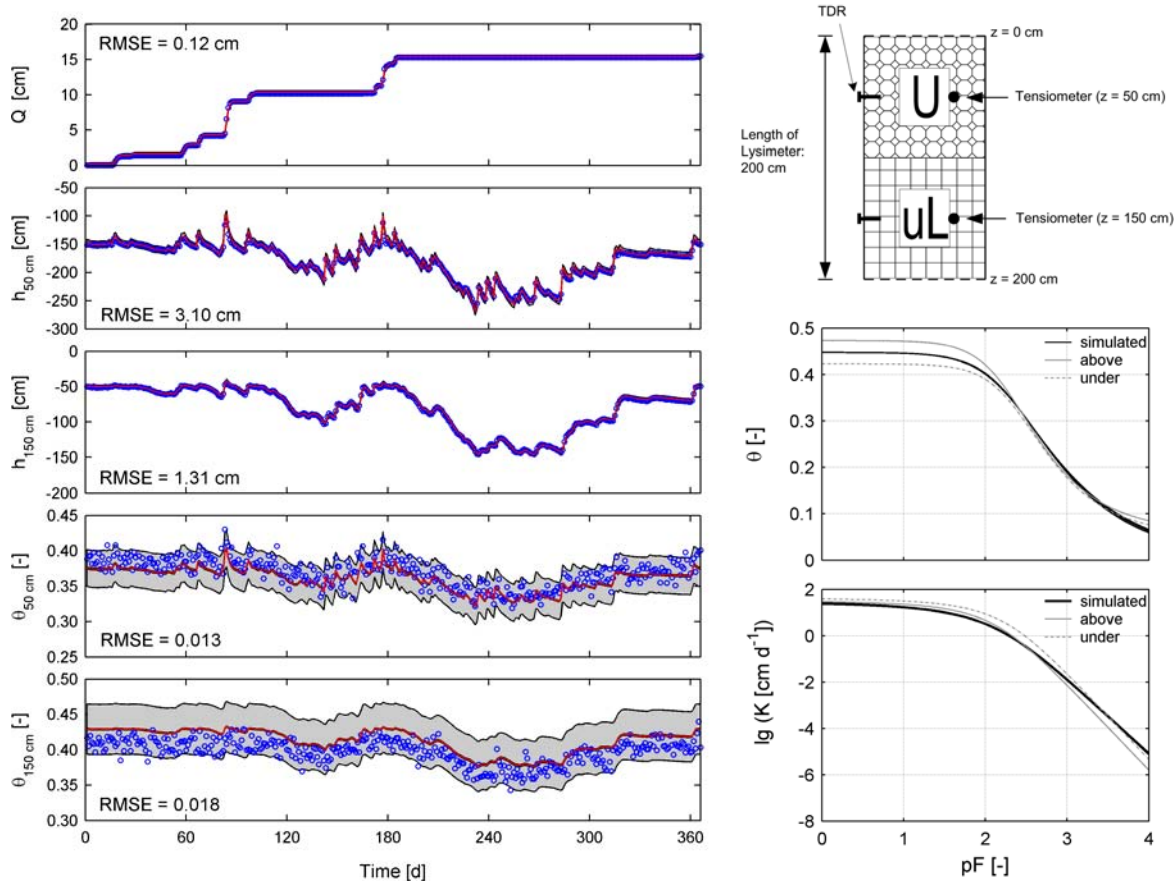
**Fig. 1.** Left: Synthetic measured and inversely simulated cumulative outflow,  $Q$ , pressure heads,  $h$ , and water contents,  $\theta$ , at two depths in a 2 m long lysimeter. Soil type: Sand. Experiment type: Natural boundary conditions. Right: Identified hydraulic properties. Upper Row: Identification results by the local convergent Levenberg-Marquardt algorithm, obtained from different initial parameter estimates. Lower row: Corresponding estimates obtained by the global convergent SCE-UA algorithm.

## Material and Methods

Synthetic data of soil water status (water contents and matrix potentials at different positions) and boundary water flow (cumulative outflow data and upper boundary fluxes) were generated by forward simulations of the soil water movement in 200 cm long lysimeters, using the HYDRUS-1D Software. The generated data were perturbed by adding some random noise, reflecting typical measurement errors, and were then used in the inverse simulations to determine the effective hydraulic properties. The forward simulations were carried out under natural transient boundary conditions over a period of one year, for homogeneous soils (clay, silt, and sand, as defined in Durner and Flühler, 2005), and for layered profiles with different soil materials.

The combination of silt and silty loam (Profile I) led to a weakly heterogeneous soil system, the combination of silt with loamy sand (Profile II) induced a strong heterogeneity. The generated data were used in the inverse simulation scenarios. The objective function contained 366 cumulative outflows (one value per day), 732 pressure heads and – in some scenarios – also 732 water contents. All synthetic data were corrupted with noise by adding a normally distributed error with zero mean and a standard deviation of 0.001 cm for outflow, 0.5 cm for the pressure head, and 0.01 cm for the water content. These deviations reflect the accuracy of the measuring instruments at the lysimeter station Wagna (Austria). The weights for the data in the objective function were taken as reciprocal to the variance of the measurement errors.

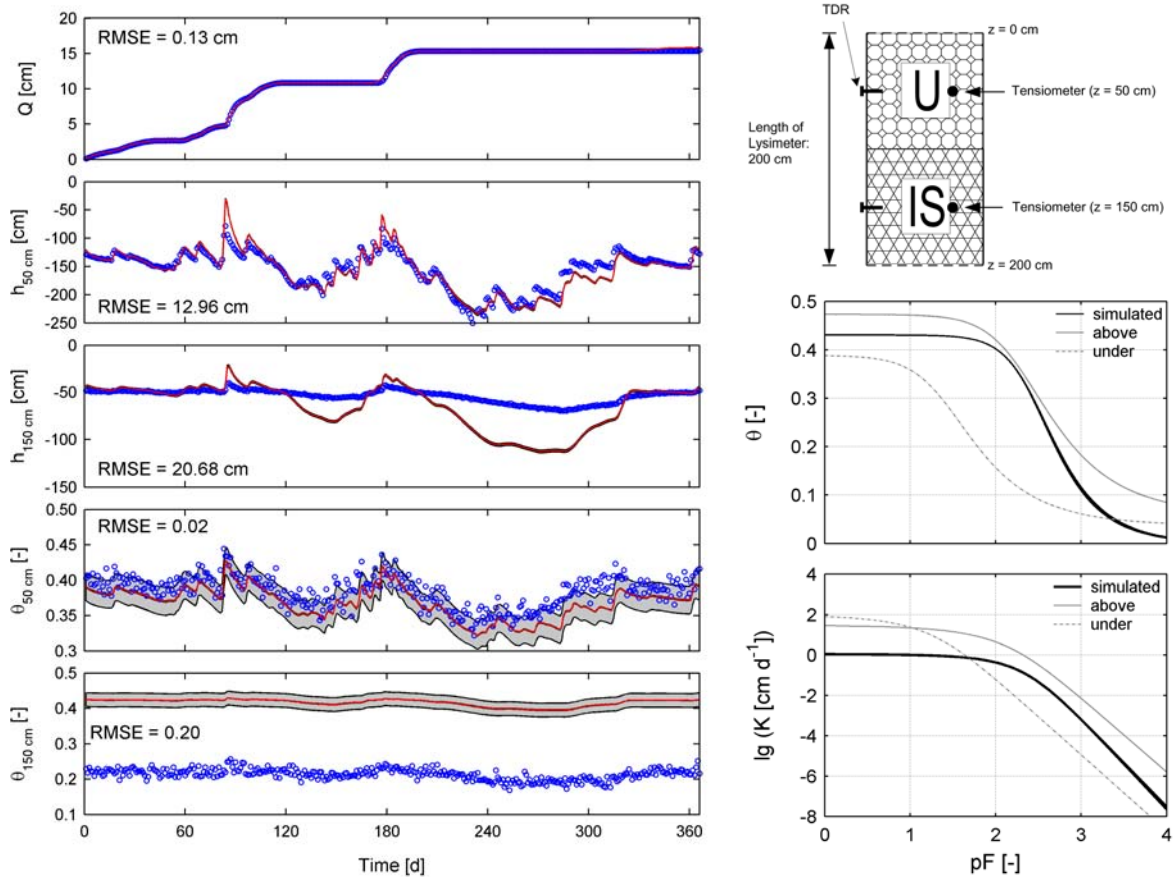
The soil hydraulic functions were taken according to the van Genuchten/Mualem model and imply five parameters: saturated water content  $\theta_s$ , residual water content  $\theta_r$ , pore-size parameter  $\alpha$ , pore-width parameter  $n$ , and saturated water conductivity  $K_s$ . In the inverse parameter estimation, the saturated water content,  $\theta_s$ , was fixed at its real value so that the parameter vector  $\mathbf{p}$  contained four unknowns. For the parameter optimisation the Levenberg-Marquardt algorithm, as implemented in HYDRUS-1D, and the global convergent shuffled complex evolution (SCE-UA) algorithm were applied. The SCE-UA algorithm is implemented in MATLAB, Version 6.5 and interlinked with the HYDRUS-1D Kernel, Version 7. An uncertainty analysis was carried out by applying the first order second moment (FOSM) method. For further details see Jansen (2005).



**Fig. 2.** Left: Synthetic measured and inversely simulated cumulative outflow, pressure heads, and water contents at two depths in a 2 m long lysimeter. Soil type: Profile I. Experiment type: Natural boundary conditions. Right: Identified hydraulic properties obtained by the global convergent SCE algorithm. For comparison, the hydraulic functions of both individual soil layers are included as grey lines. The uncertainties in the effective hydraulic functions are presented as 95% confidence intervals.

## Results and Conclusions

The inverse determination of hydraulic properties of locally homogenous lysimeters from observations of boundary fluxes and state variables in two depths under natural boundary conditions was successful. For most soil types it was sufficient to include the cumulative flux at the lower boundary and some tensiometric measurements in the object function. Observations and inverse simulations showed a perfect match (Fig. 1). The identification of the original properties was in most cases accurate and unique. This result for synthetic data reflects an absolute ideal case, where no error with respect to the process model and parametric model, and no systematic data errors are present. However, this positive finding is restricted to the use of a robust global parameter estimation scheme (Fig. 1). The inverse simulation for layered soil profiles (Figs. 2 and 3) also gave always a very good accordance between observed and fitted outflow, despite the replacement of the layered by a homogeneous soil. Internal heterogeneity is not visible in the outflow data. For the less heterogeneous profile I, even the agreement between observed and simulated internal state variables (pressure heads and water contents) is good. However, for the strongly heterogeneous profile II (Fig. 3) the mismatch becomes very obvious. The layered system can no longer be replaced by effective “mean properties” of the soil. However, if the layering is explicitly included in the parameter estimation procedure, it is possible to estimate the properties of two individual layers simultaneously by the inverse procedure (Jansen, 2005).



**Fig. 3.** Left: Synthetic measured and inversely simulated cumulative outflow, pressure heads, and water contents at two depths in a 2 m long lysimeter. Soil type: Profile II. Experiment type: Natural boundary conditions. Right: Identified hydraulic properties obtained by the global convergent SCE algorithm.

Our results show that it is possible to derive effective hydraulic properties of large soil bodies on length scales relevant for field soils from measurements on lysimeters. In comparison to free soil bodies, an important advantage results from the accurate knowledge of the boundary water fluxes. Still, the investigation of water and solute transport properties of lysimeters by inverse modeling faces considerable challenges. We found that it requires the use of efficient and modern computer codes to solve the transport equations and robust algorithms for parameter estimation. Problems for applying the technique to real data will likely emerge from violations of some of the underlying assumptions, such as the errorless representation of the flow process by the Richards equation, and the neglect of hysteresis. Furthermore, the activity of plants in the water uptake during evapotranspiration might cause problems. This will be further evaluated in the companion paper by Jansen and Durner (this issue).

## References

- DURNER, W. & FLÜHLER, H. (2005): Soil Hydraulic Properties. – In: Anderson, M.G. (Ed., 2005): Encyclopedia of Hydrological Sciences, Chapter 74, 1103-1120. – 1. edn. John Wiley & Sons, Ltd.
- JANSEN, U. (2005): Bestimmung effektiver hydraulischer Eigenschaften geschichteter Böden auf der Lysimeterskala durch inverse Modellierung. – Unpublished Diploma Thesis, Institute for GeoEcology, Technical University, Braunschweig.

# Modeling of soil water and solute transport on the lysimeter scale

U. Jansen/W. Durner

Braunschweig Technical University  
Institute of GeoEcology  
Soil Science and Soil Physics  
Langer Kamp 19c  
D-38106 Braunschweig – Germany

## Zusammenfassung

Der Wasserstatus von Böden beeinflusst ökosystemare Stoff- und Energieumsetzungen auf allen Skalen. Zur Quantifizierung der Ausbreitung von Schadstoffen im Boden ist daher eine korrekte Beschreibung des ungesättigten Wassertransportes erforderlich, welches die Kenntnis der bodenhydraulischen Eigenschaften voraussetzt. In diesem Zusammenhang gilt der Frage nach der Übertragbarkeit bodenhydrologischer Prozesse auf größere Skalen ein besonderes Interesse. Um die bestehende Skalenlücke zwischen Labor und Feld zu schließen, wurde in diesem Forschungsprojekt die Lysimeterskala gewählt. Zur Identifikation der bodenhydraulischen Eigenschaften bzw. zur Quantifizierung des Tracertransportes wurde die Methode der inversen Modellierung unter Einbeziehung des global konvergenten Shuffled-Complex-Evolution-Algorithmus angewandt. Dazu wurden Daten der Lysimeterstation Wagna in Österreich herangezogen. Die Experimente fanden an zwei unterschiedlich bewirtschafteten monolithisch gestochenen Lysimetern unter atmosphärischen Randbedingungen über einen Zeitraum von 18 Monaten statt und beinhalteten zeitlich hoch aufgelöste Messungen von Tracergehalten und Wassermengen im Ausfluss sowie von Wassergehalten und Matrixpotentialen in mehreren Tiefen. Die Schwierigkeiten der Anwendung der inversen Modellierung auf der Lysimeterskala liegen vor allem in der Heterogenität der Böden und der damit verbundenen Nichtexistenz eindeutiger effektiver bodenhydraulischer Eigenschaften begründet.

## Introduction

Modeling the transport of solutes in soils requires a valid description of water transport. In general the Richards equation is used to describe transient flow processes. Due to the high nonlinearity of the hydraulic functions, the use of this equation for large scales in soils with spatial variability of hydraulic parameters is a frequently discussed problem in soil hydrology (Durner & Flühler, 2005). To close the existing gap between laboratory and field scale, the lysimeter scale more and more finds itself in the soil scientific spotlight. Lysimeter have the advantage of a controlled mass balance, because the water that leaves the system through the upper and lower boundary can be measured in high precision by weighting and sampling the outflow.

The main focus of this research project lies in the inverse simulation of the unsaturated water transport to determine the hydraulic properties of heterogeneous soils, using measured data from the lysimeter station Wagna in Austria (Fank, 1999). The obtained hydraulic properties were used for the subsequent inverse simulation of the transport of bromide, used as an ideal tracer. The lysimeter experiments took place under atmospheric boundary conditions over a period of several years and still continue. This study is related to a basic study about inverse simulation of water transport, which used synthetic data to simulate measurements in heterogeneous, layered soils (Jansen, 2005; Durner & Jansen, this issue). The simulations for synthetic data showed the difficulties of the inverse determination of effective hydraulic parameters in particular for strongly heterogeneous soils under atmospheric boundary conditions. From this basic study it became evident that the layered soils in Wagna could not be represented by one set of quasi-homogeneous properties. Thus, two sets of hydraulic parameters were estimated simultaneously.

## Material and methods

In 1991 the research station Wagna was established, because the intensification of agriculture in the region of the “Leibnitzer Feld” (Steiermark) in the eighties resulted in quality problems of the groundwater (Fank, 1999). Since autumn 2004 this station operates two undisturbed, weighable, suction lysimeters (surface: 1 m<sup>2</sup>, depth: 2 m) on differently cultivated experimental sites (conventional and ecological). The lysimeters have special edges and lowering techniques to be planted and handled in the same way as the surrounding field. The lysimeter soils are characterised by a very high vertical heterogeneity due to a fine-textured topsoil and a sandy subsoil containing gravel. In this study, data of the lysimeter on the conventionally farmed experimental site were primarily used because this lysimeter was provided with additional tensiometers and TDR tubes. During the simulation period (October 2004 until January 2006) different crops were cultivated on the fields. The pumpkins which were planted in the vegetation period from May to September 2005 played a decisive role for the water transport simulations because of their high water requirements.

For the inverse simulation of the unsaturated water transport a short simulation period (38 days) was chosen, which was defined by a continuous drying of the soil. Therefore, hysteresis did not need to be considered. The optimisation of the hydraulic parameters was carried out with the global convergent shuffled complex evolution algorithm of Duan et al. (1993). The bimodal Mualem-van Genuchten model (Durner, 1994) as well as a free-form parameterisation (Bitterlich et al., 2004) were used to characterise the unsaturated hydraulic functions. The upper boundary condition was set according to the matrix potential measured in the same depth next to the lysimeter.

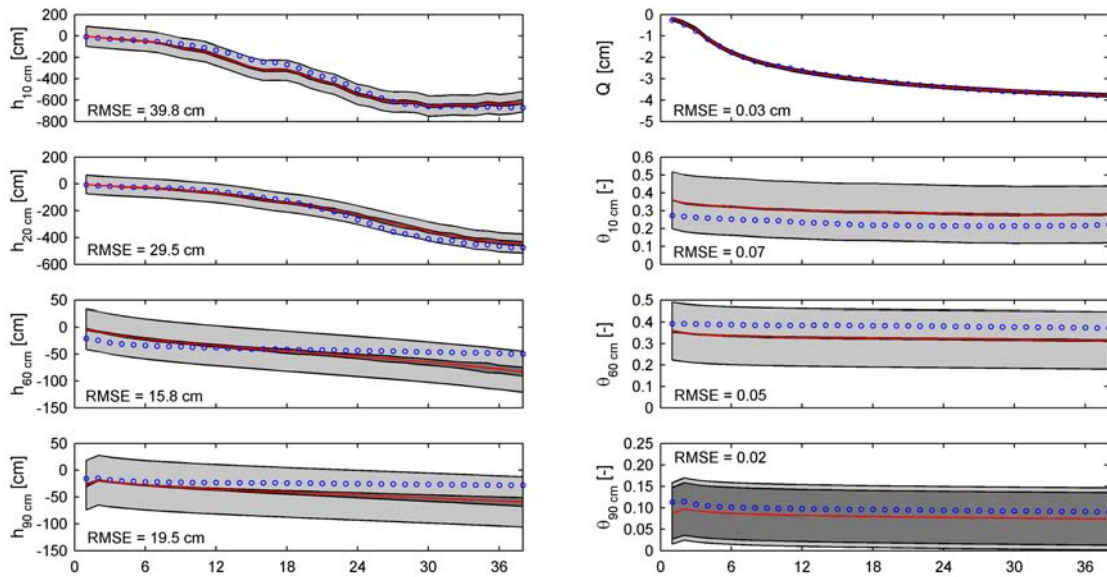
The optimised hydraulic parameters were included in the direct simulations of water transport over longer simulation periods and finally in the solute transport simulations of the tracer bromide, which was applied on the 12.04.2005. These simulations were realised by the software HYDRUS-1D (Simunek et al., 1998). The inverse determination of the bromide transport parameters was obtained with the local convergent Levenberg-Marquardt algorithm. The convection-dispersion equation in the form of the two-region model (mobile-immobile approach) was applied.

## Results and discussion

The inverse simulation scenario using the free-form parameterisation of the hydraulic functions provided optimal agreement between observations and simulation. However, this parameterisation is not included in HYDRUS-1D software. Therefore, a slightly worse-fitting scenario with bimodal Mualem-van Genuchten parameters and two soil layers was used in the subsequent solute transport simulations and is presented here. Inverse simulations that consider more than two soil layers could currently not be realised since the required computer power is too high.

The measured data of cumulative outflow ( $Q$ ) correspond excellent to the simulated value (Fig. 1, upper right), and also the agreement between measured and observed pressure heads is relatively good, keeping in mind the two-layer arrangement of the simulation. The water contents show systematic deviations between fitted and measured data, indicating some further heterogeneities in the upper soil layer. To improve this, an additional layer must be introduced. The prediction uncertainty was calculated by the 95% confidence intervals and is composed of parameter uncertainties (dark-grey) and uncertainties caused by measurement errors (bright-grey). In the majority of cases the parameter uncertainties are small (Fig. 1). For the outflow, the prediction uncertainty is very small, which means that the effective flow properties of the system are captured very well by the simulation. For the water content and pressure heads, the above mentioned systematic deviations lead to wide prediction uncertainties. For more details see Jansen (2005).

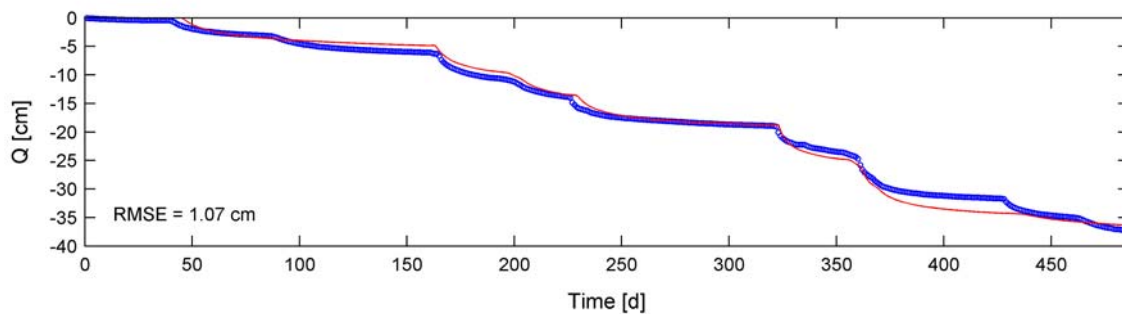
In principle the separate estimation of the hydraulic parameters for more than two soil layers would have been necessary. Another source of error resulted from the uncertain, and possibly somehow inaccurate definition of the root growth and root water uptake, which of course affects the soil hydraulic parameter estimation.



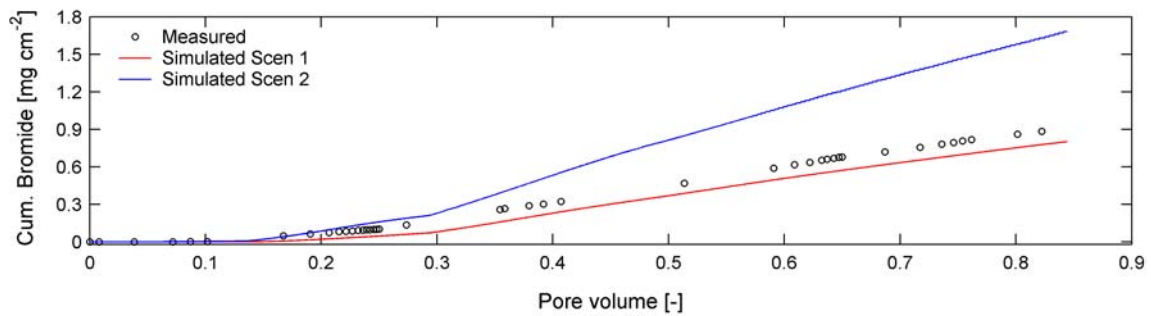
**Fig. 1.** Measured (blue) and simulated (red) matrix potential, water content and cumulative outflow data of the inverse simulation with two soil layers by application of the bimodal van Genuchten parameterisation of the hydraulic functions (05.10.2005 to 10.11.2005).

The application of the optimised hydraulic parameters for the whole simulation period resulted in the cumulative outflow presented in Fig. 2. The deviations in the last third of the simulation time could be due to the missing integration of the transpiration of grass vegetation since HYDRUS-1D only contains the root growth parameters for one vegetation period.

However, since the total amount of simulated outflow was in the range of the measured value, the optimised hydraulic parameters were used in the inverse simulation of bromide leaching. In Fig. 3 the measured total volume of bromide and the simulated bromide contents of two inverse scenarios are plotted versus pore volumes. The dispersivity  $\lambda$  and the mass transfer coefficient  $\alpha$  of the mobile immobile approach of both soil layers were included in the optimisation procedure. During the simulation period of almost 300 days the pore volume was not completely replaced so that the maximum bromide concentration in the outflow is not reached yet. Around 23% of the bromide was collected by the end of January 2006. This is in accordance with a bromide mass of almost  $0.9 \text{ mg cm}^{-2}$ . The simulated bromide contents in the outflow of the first scenario (red line) approximately fit the measured values. To obtain this good correspondence, a high bromide uptake by the pumpkin vegetation had to be simulated, which strongly deviates from the actually measured values in the plant matter.



**Fig. 2.** Measured (blue) and simulated (red) cumulative outflow data of the direct simulation with two soil layers by application of the bimodal van Genuchten parameterisation of the hydraulic functions (05.10.2004 to 31.01.2006).



**Fig. 3.** Measured and simulated cumulative bromide concentration in the lysimeter outflow (12.04.2005 to 31.01.2006).

In a second simulation scenario (blue line) this uptake of bromide was approximately adjusted to the measured content in the plants. This resulted in a significant overestimation of the bromide mass in the outflow. This result could be affected by a wrong estimate of immobile and mobile regions in the simulations as compared to the real situation. A deficiency of the two-region model consists in the definition of immobility, which is set constant regardless of the true water content, and therefore has to be set strictly smaller than the minimum water content that occurs at any time during the simulation (Zurmühl & Durner, 1996). This leads in the simulation to an overestimation of the fraction of “mobile” pores which results in too much leached bromide.

## Conclusions

Our study shows that inverse water and solute transport simulations on the lysimeter scale is a feasible tool to derive transport parameters. For the given case, it will be necessary to include more distinct soil layers and hydraulic parameter sets in the simulations, requiring more computer power. Better optimisation algorithms and more flexible descriptions of the hydraulic functions such as free-form parameterisations could also contribute to improve the simulation results. Furthermore, a more accurate definition of vegetation parameters as well as improved solute transport models should be included in the simulation software in the future.

## References

- BITTERLICH, S., W. DURNER, S. C. IDEN & P. KNABNER (2004): Inverse Estimation of the Unsaturated Soil Hydraulic Properties from Column Outflow Experiments Using Free-Form Parameterizations. *Vadose Zone Journal*, 3, 971-981.
- DUAN, Q., GUPTA, V. K. & SOROOSHIAN, S. (1993): Shuffled Complex Evolution Approach for Effective and Efficient Global Minimization. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 76, 501-521.
- DURNER, W. & FLÜHLER, H. (2005): Soil Hydraulic Properties. – In: Anderson, M.G. (Ed., 2005): *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. – 1. edn. John Wiley & Sons, Ltd.
- DURNER, W. (1994): Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure, *Water Resour. Res.* 30, 211-223.
- FANK, J. (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefrachtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). *Beiträge zur Hydrologie*, 49/50, 101-388.
- JANSEN, U. (2005): Bestimmung effektiver hydraulischer Eigenschaften geschichteter Böden auf der Lysimeterskala durch inverse Modellierung. – Unpublished Diploma Thesis, Institute for GeoEcology, Technical University, Braunschweig.
- SIMUMEK, J., HUANG, K., SEJNA, M. & VAN GENUCHTEN, M. TH. (1998): The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 2.02.
- ZURMÜHL, T., & W. DURNER (1996): Modelling transient water and solute transport in a biporous soil, *Water Resour. Res.* 32, 819-829.



# **Ansätze zur Modellierung der Wasserhaushaltskomponenten und des Stickstoffumsatzes in Lysimetern mit dem Modellpaket „CoupModel“**

N. Böttcher<sup>1</sup>)/T. Reimann<sup>1</sup>)/J. Fank<sup>2</sup>)

<sup>1</sup>Dresden University of Technology  
Institute for Groundwater Management  
Karcherallee 8  
01277 Dresden - Germany

<sup>2</sup>JOANNEUM RESEARCH  
Institute for Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## **Summary**

Lysimeter as controlled views inside the soil system may be helpful for understanding transport processes of material and energy. The hydrological model CoupModel can be used to describe such processes. This paper focuses on using CoupModel for simulating the water and nitrogen balance, using existing lysimeter data for discretisation and calibration of the model. The results of the ex-post-prognosis are compared with measured data for evaluation of the simulation quality. Finally the differences between measured data and simulation results are discussed.

## **1. Einleitung**

Das Modell CoupModel ist ein Programm zur Simulation der Transportprozesse von Wärme, Wasser und Stoffen im Boden und in der Pflanze. Es wurde in Schweden von einem Team um den Hydrologen Per-Erik Jansson entwickelt und ist eine Kopplung der älteren Modelle SOIL und SOIL-N, welche immer noch integrale Bestandteile des neuen Programms sind. Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Fachpraktikums. Sie soll in erster Linie dazu dienen, das Modell auf seine Anwendbarkeit für die Modellierung von Großlysimetern zu überprüfen.

## **2. Modellvorstellung**

### **2.1 Einordnung**

Bei CoupModel handelt es sich um ein eindimensionales instationäres Modell zur Modellierung von Wärme, Wasser und Stofftransportprozessen in der ungesättigten Bodenzone. Dabei werden auch Sorptionsprozesse sowie Stoffumwandlung bzw. -abbau berücksichtigt. Das Modell zeichnet sich vor allem durch eine Vielzahl an möglichen Eingabedaten und Parametern aus, wodurch es auf der einen Seite zu einem vielseitigen Werkzeug für verschiedene Disziplinen wird, auf der anderen Seite jedoch sehr viel Aufwand bei der Parametrisierung erfordert. Ursprünglich für Waldböden entwickelt, kann CoupModel durch erweiterte Pflanzenparameter für die Simulation

von nahezu jedem Ökosystem verwendet werden. Es findet heute vor allem Anwendung in Bereichen der Landwirtschaft, Bodenkunde und Wasserwirtschaft.

## 2.2 Modellkonzept

CoupModel besteht grundsätzlich aus einer abiotischen und einer biotischen Komponente. Diese beiden Teile sind normalerweise strikt voneinander getrennt, sie arbeiten folglich unabhängig voneinander. Dies ist vor allem dann vorteilhaft, wenn vorhandene Wasserhaushaltsmodelle mit Stofftransportmodellen gekoppelt werden sollen.

Der abiotische Ansatz von CoupModel betrachtet ausschließlich den Wasser- und Wärmetransport im Boden. Dazu wird ein Tiefenprofil des Untergrundes verwendet, welches durch verschiedene Horizonte mit charakteristischen Bodenparametern beschrieben wird. Mit Hilfe der Richardsgleichung ermittelt das Programm den Wasserfluss zwischen den einzelnen Horizonten unter Berücksichtigung entsprechender Randbedingungen. Die Lösung der Richardsgleichung erfolgt anhand der Methode der finiten Differenzen. Die Randbedingungen werden während der Simulation aus empirischen Zeitreihen gelesen. Sollten Daten nicht verfügbar sein, so können einige auch durch Anpassung verschiedener Parameter generiert werden.

Die biotische Komponente des Programms befasst sich mit der Modellierung der Kohlenstoff- und Stickstofftransporte, indem biologische Prozesse wie Pflanzenwachstum und mikrobieller Abbau simuliert werden. Die Stickstoffgehalte des Bodens sowie der Pflanzen werden durch eine Vielzahl unterschiedlicher Pools repräsentiert. Durch Verlagerung der Stickstoffgehalte innerhalb dieser Pools werden Umwandlungsprozesse wie Humifizierung, Nitrifizierung, Denitrifizierung und Assimilation simuliert. Eintragsquellen von Stickstoff können neben organischer und mineralischer Düngung auch atmosphärische Deposition sowie der Eintrag atomaren Stickstoffs durch Mykorrhiza sein.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Messdaten

Dem in dieser Arbeit simulierten Ökosystem liegen Messdaten des biologisch bewirtschafteten Lysimeters der Forschungsstation Wagna zugrunde. Der Simulationszeitraum erstreckte sich von April bis September 2005. Während dieser Zeit wurde auf dem Lysimeter Ölkürbis (*Cucurbita peto*) angebaut. Das Lysimeter war mit einer ungestörten Bodenprobe gefüllt. Dabei handelte es sich im oberen Teil (bis ca. 110 cm Tiefe) um einen sandigen Lehm, im unteren Teil um Schotter (bis 180 cm Tiefe). An der Unterseite des Lysimeters, zwischen 180 und 200 cm Tiefe, wurde eine Filterschicht aus Kies eingebaut. Da es sich bei diesen Lysimetern um Unterdrucklysimeter handelt, wurden an deren Unterseiten Saugkerzen angebracht um Sickerwasser zu entnehmen. Der angelegte Unterdruck entsprach dabei dem Matrixpotential im freien Feld in derselben Tiefe. Die für die Simulation relevanten Daten liegen für den gesamten Simulationszeitraum als Zeitreihen in 10-Minuten Intervallen vor. Dazu zählen in erster Linie:

- Klimadaten (Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Nettostrahlung)
- Bodendaten (Wasserspannung, Wassergehalt, Temperatur)
- Sickerwassermenge
- Angelegter Unterdruck

Die verwendeten Klimadaten wurden in der Wetterstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) aufgenommen, welche sich auf dem Gelände der Forschungsstation Wagna befindet. Die Matrixpotentiale wurden mit Gipsblöcken in 35, 60 und 90 cm Tiefe sowie mit Tensiometern in 90 und 180 cm Tiefe ermittelt. Die Wassergehalte wurden in denselben Tiefen

durch TDR-Sonden gemessen. Die Sickerwassermenge wurde mithilfe einer Hydrologischen Wippe ermittelt.

### 3.2 Modellkalibrierung

Zunächst erfolgte die zeitliche und räumliche Diskretisierung des Modells. Der Simulationszeitraum für die Wasserbilanz erstreckte sich vom 15.04.2005 bis zum 15.09.2005. Der Stickstoffhaushalt wurde vom 20.09.2004 bis zum 15.09.2005 simuliert. Für die räumliche Charakterisierung des Lysimeters wurde ein Bodenprofil mit sieben Horizonten erstellt. Mit Hilfe des Programms RETC konnten aus den Messdaten der Wasserspannung und des Matrixpotentials aus vier verschiedenen Tiefen Wasserretentionskurven erstellt werden. Die Eigenschaften der Horizonte, für die keine Daten vorhanden waren, wurden von CoupModel aus den übrigen Werten interpoliert. Anschließend wurden für jeden Bodenhorizont Ausgangsbedingungen wie z.B. Wassergehalte, Bodentemperatur sowie Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen angegeben. Die Entwicklung der Vegetation wurde mit Hilfe von Fotomaterial eingeschätzt und durch die Anpassung verschiedener Parameter modelliert. Um mit der Durchführung der Simulation zu beginnen fehlte nur noch die Verknüpfung des Modells mit den meteorologischen Zeitreihen für Niederschlag und Verdunstung als obere Randbedingung sowie den am Lysimeter angelegten Unterdrücken als untere Randbedingung. Für die Kalibrierung des Modells waren viele Programmdurchläufe nötig. Dabei wurden hauptsächlich die hydraulischen Eigenschaften aller Bodenhorizonte innerhalb sinnvoller Grenzen variiert. Ferner stellte sich der Verlauf der Pflanzenentwicklung als wirksamer Eichparameter heraus.

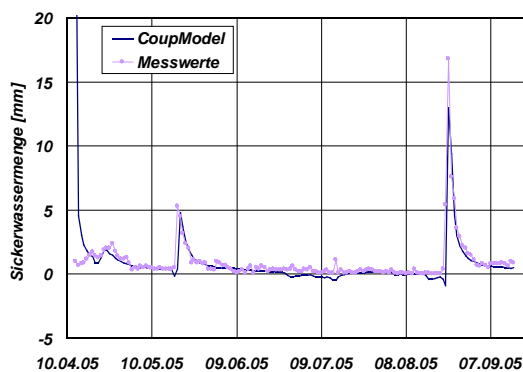


Abb. 1 Gemessene und berechnete Sickerwassermengen - Observed and simulated seepage hydrographs

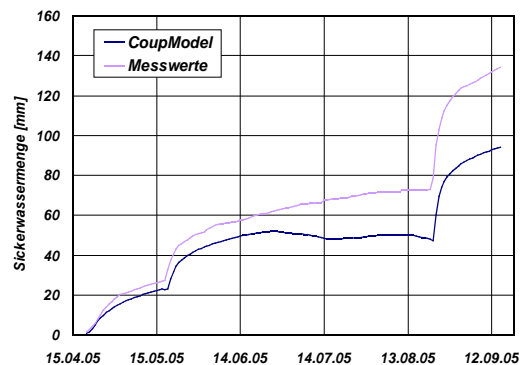


Abb. 2 Vergleich der aufsummierte Sickerwassermengen – Comparison of accumulated seepage

Als Kontrollgröße für den Wasserhaushalt kamen die Wassergehalte bzw. Saugspannungen in Frage, von besonderer Bedeutung waren jedoch die Sickerwassermengen. Der in Abb. 1 dargestellte Vergleich zwischen observierter und prognostizierter Sickerwasserganglinie zeigt im zeitlichen Verlauf eine gute Übereinstimmung, jedoch liegt die berechnete Sickerwassermenge deutlich unterhalb der gemessenen. dies wird bei der Betrachtung der aufsummierten Sickerwasserganglinie (Abb. 2) besonders deutlich.

Das Defizit bei der Modellrechnung beläuft sich auf ca. 40 mm für den gesamten Simulationszeitraum. Als mögliche Hauptursache für dieses Defizit sind Ungenauigkeiten bei der Abschätzung der Pflanzenparameter zu nennen. Dadurch wird die Verdunstung zu hoch berechnet. Sie beträgt beim Modell 443 mm gegenüber gemessenen 383 mm.

Die Genauigkeit des Stickstoffmodells lässt sich aufgrund fehlender Kontrollgrößen nur mit Hilfe der Analyse der Ernterückstände überprüfen. Die Laboruntersuchung von Rankenmaterial, Fruchtfleisch und Samen ergab einen Gesamtstickstoffgehalt von ca. 16 g für beide Pflanzen. Im Modell nahmen die Pflanzen bis zum Sommer etwa 10 g Stickstoff auf, durch Blattabwurf verblieben davon bis zum Erntetag noch ca. 6 g am Lysimeter.

## 4. Diskussion – Ausblick

In seiner derzeitigen Komplexität und Parametriegüte sind mit CoupModel realitätsnahe Modellierungen von Wasser- und Stickstofftransport möglich. Die aus der Modellkomplexität resultierende Modellgüte bedingt jedoch einen sehr hohen Parametrieraufwand, welcher einen hohen empirischen Dateneinsatz erfordert. Stehen diese Daten zur Verfügung so sind die verwendeten Modellansätze durchaus zur Abbildung der Vorgänge in der ungesättigten Bodenzone geeignet.

Noch bestehende Aussageungenauigkeiten im Bereich der Stickstoffvorgänge können durch eine Verbesserung der Parametrisierung mittels genauer Datenbasen verbessert werden. Unzulängliche Daten liegen beispielsweise im Bereich der Pflanzeigenschaften vor. Zu nennen sind dabei insbesondere der Blattflächenindex, die Durchwurzelungstiefe und der pflanzenspezifische Stickstoffmetabolismus.

Bei der Erstellung der Wasserretentionskurven wurde zwar auf umfangreiche Messdaten zurückgegriffen, es zeigt sich jedoch, dass diese Messungen nicht immer für die jeweilige gesamte Bodenschicht repräsentativ sind. Aufgrund dieser Ungenauigkeiten ergeben sich Fehler in der Berechnung der ungesättigten Leitfähigkeit oder des Bodenspeichers, wodurch die Abweichungen in der Wasserhaushaltskomponente teilweise begründet werden. Um die Aussagengenauigkeit von CoupModel zu verbessern ist eine tiefgründige Untersuchung der in diesem Bereich verwendeten Ansätze erforderlich.

## 5. Literatur

- JANSSON, P.E. & KARLBERG, L. (2004): Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Royal Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering. 453 S., Stockholm.
- FANK, J. (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefrachtung des Grundwassers in quartären Lockersediment Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). Beiträge zur Hydrogeologie 49/50., Graz.
- ALLEN, R. G. et al. (1998): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper No. 56, Rom.
- CoupModel (2004): <http://www.lwr.kth.se/Vara%20Datorprogram/CoupModel/index.htm> (March, April 2005).

# “Tension-free” Lysimeters versus “Controlled tension” Lysimeters – A Simulation Study

E. Stenitzer<sup>1</sup>/J. Fank<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Austrian Federal Agency for Water Management  
Institute for SoilWaterManagement Research  
Pollnbergstrasse 1  
A-3252 Petzenkirchen - Austria

<sup>2</sup> Joanneum Research  
Institute for Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria)

## Zusammenfassung

Für zwei unterschiedliche Standorte wird der Fehler bei der Messung der Sickerwassermenge mit Schwerkraftlysimetern mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell SIMWASER abgeschätzt. An der Station WAGNA mit rund 900 mm/a Niederschlag im Untersuchungszeitraum würde bei Verwendung eines Schwerkraftlysimeters anstelle des vorhandenen Unterdrucklysimeters etwa 10% weniger Sickerwasser gemessen werden. Im Marchfeld fiel während der Jahre 2001-2005 bei den Schwerkraftlysimetern mit einem tiefgründigen schluffigen Tschernosem bei einem mittleren Niederschlag von 550 mm/a überhaupt kein Sickerwasser an, obwohl für das natürliche Bodenprofil eine Grundwasserneubildung von 120 mm errechnet wurde, welche Menge bei Verwendung eines Unterdrucklysimeters erfasst worden wäre.

Die vorliegenden ersten Auswertungen und Simulationen lassen vermuten, dass in niederschlagsreichen Gebieten die Messung der Grundwasserneubildung durchaus mit vergleichsweise billigen Schwerkraftlysimetern durchgeführt werden kann, da der damit verbundene Fehler gering bleibt. In Trockengebieten jedoch sollten für eine realistische Erfassung der Grundwasserneubildung Unterdrucklysimeter zur Anwendung kommen.

## Introduction

For sustainable use of our groundwater reserves natural groundwater recharge must be known. The most reliable method of assessing ground water recharge is its measurement by lysimeters. But care must be taken to avoid the so called „lysimeter errors“ immanent to this method. In case of using simple “tension-free” lysimeters the natural water flux that is prevailing in an undisturbed soil profile will be changed by the lysimeter base by which the percolation water will be sampled. At this point soil water suction will be zero, acting as a kind of barrier, while in the natural soil profile there will always exist some gradient to push the downward movement. Therefore so called “controlled tension lysimeters” must be used if exact amounts of deep percolation are to be measured. In the following we exemplarily estimate the error in assessing natural groundwater recharge at two different sites when simple “tension free” lysimeters are used instead of “controlled tension lysimeters”.

## Material and Methods

### Lysimeterstation WAGNA

At the lysimeter research station in WAGNA (Styria, Austria) two weighable monolithic controlled tension lysimeters, with 1m<sup>2</sup> surface area and 200 cm deep (FANK & UNOLD, 2006), are installed since spring 2004. One lysimeter is used to test the typical crop rotation of the area, while the other represents an organic cropping system, by which ground water quality is hoped to be improved. For our analysis we used the measurements of the “biologic” lysimeter of the period from August 2005 to September 2006, when the lysimeter and the surrounding field were planted to clover-grass mixture (Fig. 1).

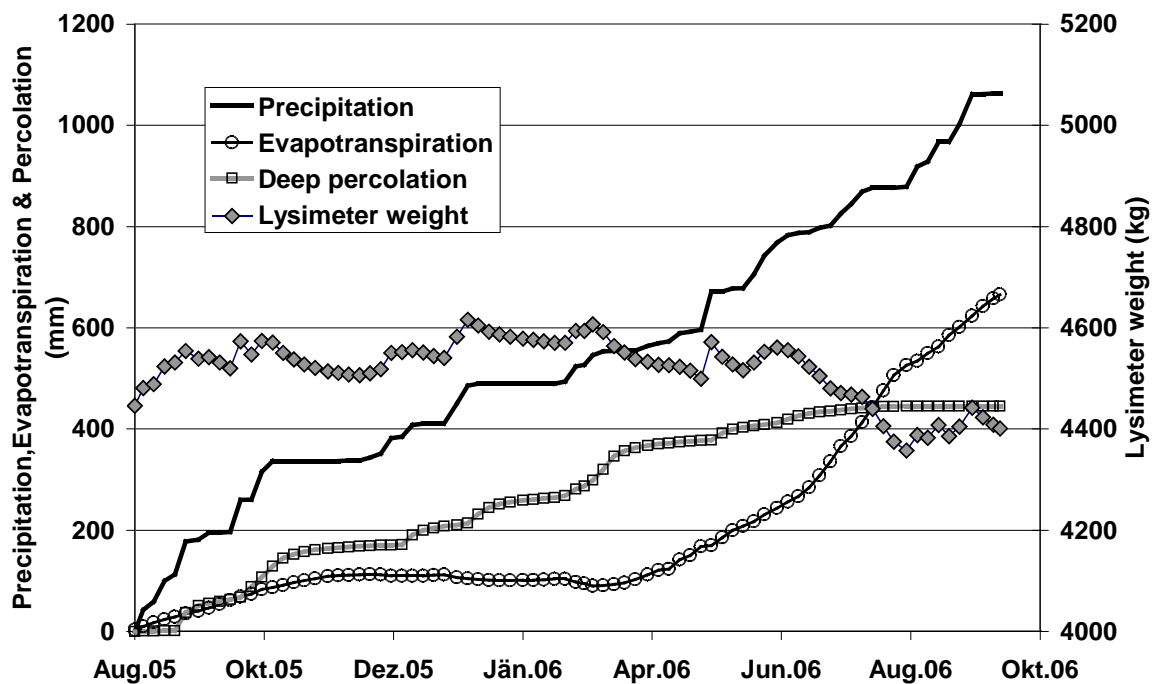


Fig. 1. Measured precipitation, evapotranspiration, deep percolation and weight of the BIO-lysimeter at WAGNA (Messwerte von Niederschlag, Evapotranspiration, Versickerung und Gewicht des BIO-Lysimeters in WAGNA)

### Lysimeterstation HIRSCHSTETTEN

At the lysimeter research station in HIRSCHSTETTEN (near Vienna, Austria) 18 non-weighable, filled in zero tension lysimeters, with 3 m<sup>2</sup> surface area and 250 cm deep (BÖHM & HÖSCH, 2001) are installed since spring 1995, representing three typical soils of the Marchfeld. For our analysis we used measurements during the period from April 2001 to December 2005 of one lysimeter containing a deep “Silty Chernozem”, when the lysimeters and the surrounding field were planted to mustard, potato, winter wheat, maize, winter wheat and winter rape (Fig. 2). No percolation was measured during this period!

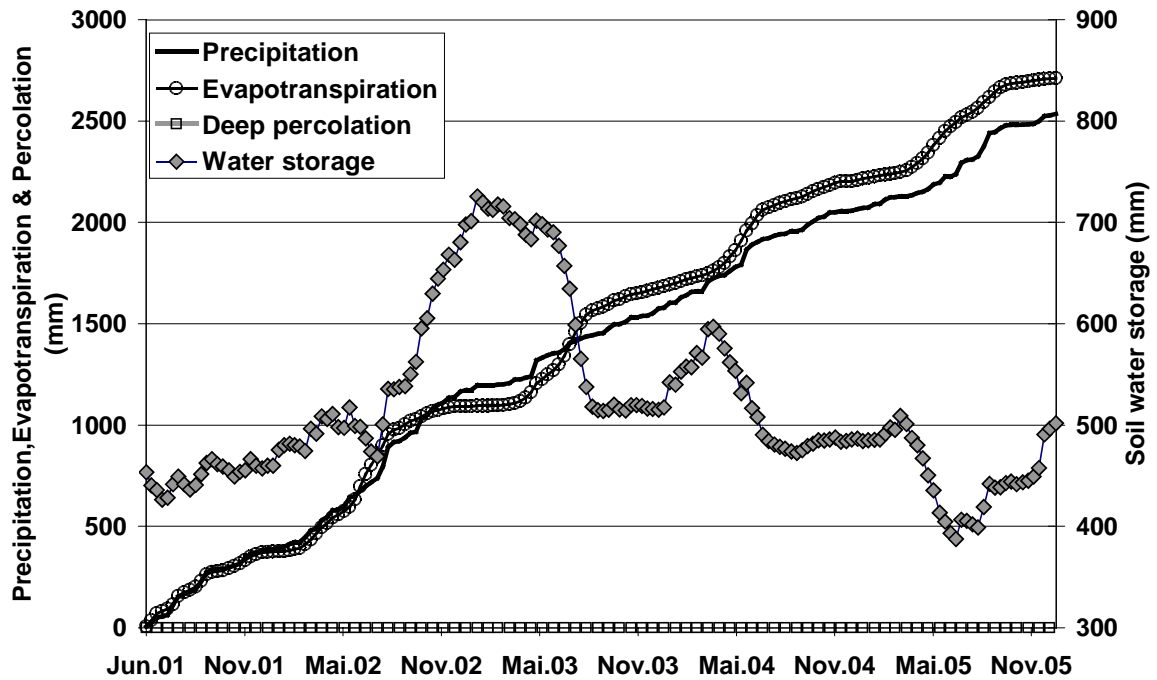


Fig. 2. Measured precipitation, evapotranspiration, deep percolation and soil water storage of the “Silty Chernozem”-lysimeter at HIRSCHSTETTEN (Messwerte von Niederschlag, Evapotranspiration, Versickerung und Profilwassergehalt des “Schluffigen Tschernosem”-Lysimeters in HIRSCHSTETTEN)

## Simulation

Deep percolation at both lysimeter sites was simulated with the SIMWASER model (STENITZER et al. 2006) using measured input data. At the WAGNA station hydraulic soil parameters needed for the simulation were derived from undisturbed soil samples taken during lysimeter installation, while at the HIRSCHSTETTEN station these parameters had been derived from concurrent measurements of soil water content and soil water suction at different depths of the lysimeters. At each site two different scenarios were taken into account, one of each representing the natural soil profile down to the groundwater surface, while by the other a simple tension free lysimeter was simulated. Results for the WAGNA site were compared to the measurements of the controlled suction lysimeter, while simulation results at HIRSCHSTETTEN were compared to the measurements of the tension free lysimeter thus showing the simulation performance at one hand and the difference between the two lysimeter types on the other hand.

## Results

At the WAGNA station simulated ground water recharge of the natural soil profile properly fits with the deep percolation measured by the “controlled tension” lysimeter (Fig. 3) while simulated percolation of a simple tension free lysimeter is about 10% lower than the simulated “natural” recharge. At the HIRSCHSTETTEN station simulated percolation for the “tension free” lysimeter was zero as the measurements, but was 120 mm for the simulated “natural” soil profile at this site.

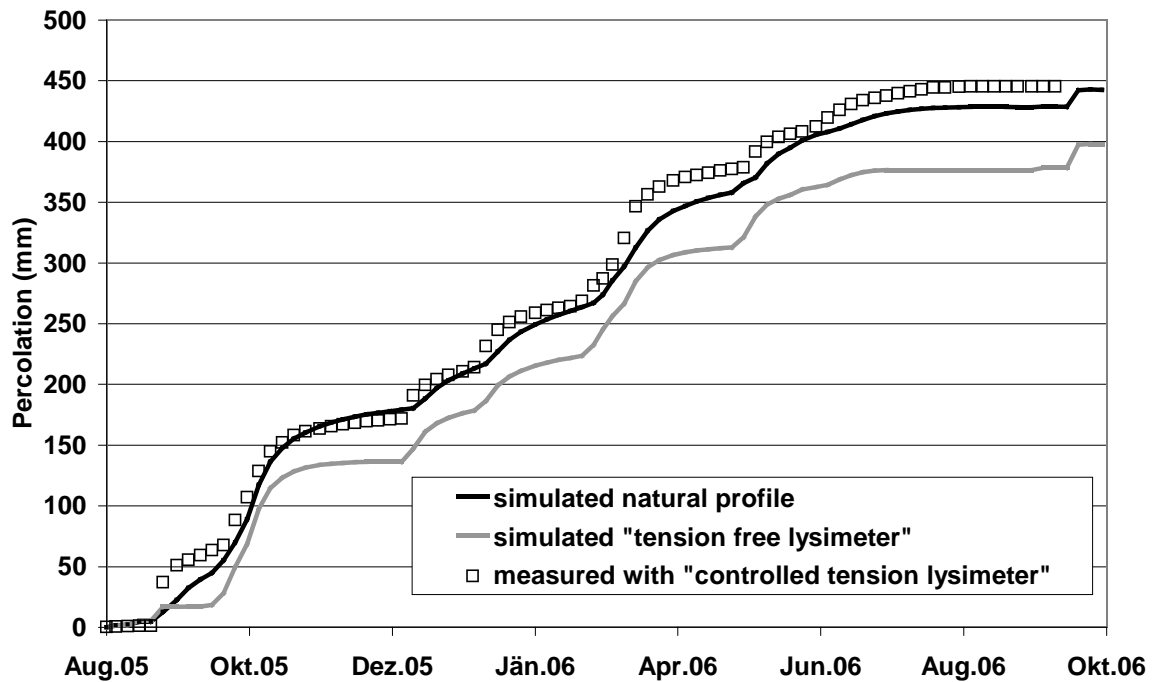


Fig. 3. Measured percolation of the “controlled tension” lysimeter at WAGNA in comparison with simulated percolation of the “natural” soil profile and a “tension free” lysimeter respectively (Gemessene Sickerwassermenge des Unterdruck-Lysimeters in WAGNA im Vergleich zur simulierten Versickerung des ungestörten Bodenprofils bzw. eines Schwerkraftlysimeters)

## Discussion

From the two examples shown above it may be stated, that by using simple tension free lysimeters, deep percolation (and thus ground water recharge) is underestimated at all. At sites with high precipitation this error may be tolerable (at the WAGNA station it is 10% of the supposed real percolation and only 4% of the rainfall) but in dry areas as in the MARCHFELD “controlled suction“ lysimeters should be used at least for deep soil types that have high water holding capacity. Further investigations are needed to recommend the right lysimeter type for the respective site and soil profile.

## References

- BÖHM, K. & J. HÖSCH (2001): Der Zwischenfruchtbaue als Instrument der Stoffkonservierung. - 9. Gumpensteiner Lysimetertagung. A-8952 Irdning
- FANK, J. & G. v. UNOLD (2005): Wägbare monolithische Lysimeter unter maschineller Freilandbewirtschaftung (Wagna – Austria) - 11. Gumpensteiner Lysimetertagung A-8952 Irdning
- STENITZER, E., H. DIESTEL, Th. ZENKER & R. SCHWARTENGRÄBER (2006): Assessment of capillary rise from shallow groundwater by simulation model SIMWASER using either estimated pedotransfer functions or measured hydraulic parameters. Water Resources Management (in press)



# Konzept zur flächenhaften Anwendung von Boden-Pflanze-Atmosphäre-Modellen (SVAT-Modellen)

A. Heuer/M. Casper

UNIVERSITÄT TRIER  
Fachbereich VI  
Physische Geographie  
Behringstraße 21  
D-54286 Trier – Germany

## Summary

With assistance of numeric models, quantifications and resulting prognoses of the impact of environmentally beneficial crop management become more and more frequent. The input data used in the models mostly refers to one-dimensional-vertical sites and therefore just allows conclusions over one location. Differentiations regarding a wide area can not be done.

Using a-priori information from remote sensing data (at the time of bare soil) is considered as a way to implement a large-scale model approach. For this purpose a stratification of the test site with remote sensing data is done first. In a second step the stratified data is used in specific soil-vegetation-atmosphere-transfer-models (SVAT-models) with the objective to trace the identified two-dimensional differences of the dynamics of biomass development by the SVAT-models. Specific data collection in the field during the most important phenological stadia of the crop (winter barley) as well as GPS-based harvesting make it possible to validate and recalibrate the SVAT-models. A final model evaluation will answer questions about error estimation and uncertainty evaluation of the selected models. Closing, the gained experience relating to regionalisation is discussed

## Einleitung

### Problemstellung

In der Vergangenheit wurden verschiedene Versuche unternommen, um eine Vielzahl bestehender SVAT-Modelle mit Pflanzenwachstumskomponente miteinander zu vergleichen [Thomasson et al. (1991); Willigen (1991); Diekkrüger et al. (1995)]. Die Modelle unterscheiden sich in der Regel hinsichtlich ihrer spezifischen Anwendungsschwerpunkte und ihres Abstraktionsgrades. Für alle SVAT-Modelle gilt jedoch, dass die Modellierung der jeweiligen Prozesse eindimensional-vertikal ausgerichtet ist. Zur Berechnung werden regional spezifische Daten herangezogen, die meist punktuell ermittelt wurden und somit höchstens Aussagen in Bezug auf einen Schlag zulassen. Da in der Realität jedoch Fruchtart, Bodenverhältnisse, Bewirtschaftungsmaßnahmen und klimatische Bedingungen oftmals sehr kleinräumig variieren, kann auf diese Weise eine Differenzierung in der Fläche nicht nachgezeichnet werden. Die Ergebnisse der Modellierung werden, ausgehend von der Punktskala, daraufhin oftmals auf eine höhere Skala bezogen [Brisson et al. (2003); Hansen (2002); Stenger et al. (1999)], denn das Problem der Datenverfügbarkeit lässt eine bewährte Methode zur flächendeckenden Simulation fehlen oder beschränkt diese auf sehr spezifische Anwendungen [Gomez et al. (2002a); Gomez et al. (2002b); Casper et al. (2004)].

## Zielsetzung

Ausgehend von der beschriebenen Problematik sollen am Beispiel der Braugerste die relevanten Prozesse im System Boden-Pflanze-Atmosphäre erfasst und realitätsnah simuliert werden. Durch die Einbindung von multisensoralen Fernerkundungsdaten (multispektral, hyperspektral) sollen räumliche Muster und daraus abgeleitet Teilräume unterschiedlicher potentieller Prozessdynamik identifiziert werden. Die ausgewiesenen Teilräume sind die Grundlage für die Bestimmung von prozessrelevanten, validen Mustern, aus denen sich wiederum ein Konzept zur räumlichen Diskretisierung ableiten soll. Um die räumlichen Muster verstehen und physikalisch begründen zu können, werden während der Vegetationsperiode verschiedene Daten (s.u.) erhoben. Die Zielsetzung wird für mehrere SVAT-Modelle mit unterschiedlichem Abstraktionsgrad verfolgt, sodass beantwortet werden kann, in welchem Maße eine zunehmende Abstraktion der Modelle mit einem Informationsverlust auf Seiten der Prozessabbildung verbunden ist.

## Methodik

### SVAT-Modelle

SVAT- (Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer) Modelle beschreiben allgemein die Interaktionen im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. SVAT-Modelle mit Pflanzenwachstumskomponente haben ja nach Schwerpunktsetzung Stoff- und Energieflüsse, Biomassenentwicklung oder Ertragsoptimierung etc. zum Inhalt. Für das Forschungsvorhaben steht die Modellierung von Biomassenentwicklung und Ertrag in einem Agrarökosystemen, sowie die Abbildung der Wasser- und eingeschränkt der Stickstoffflüsse im Mittelpunkt.

Mit Augenmerk auf Kriterien wie die Simulation agrarisch genutzter Böden, die Darstellung der Wasser- und Stickstoffbilanzen sowie des Pflanzenwachstums, mögliche Schnittstellen zu Fernerkundungsdaten und die Offenheit von Steuerdateien wurde bereits eine erste Vorauswahl dominierender Modelle getroffen. Folgende Modelle wurden potentiell als für das Vorhaben geeignet eingestuft:

- CANDY (Schenk & Franko 1999)
- DAISY (Hansen et al. 2000)
- EXPERT-N (Stenger et al. 1999)
- HERMES (Kersebaum et al. 2005)
- MINERVA (Kersebaum & Beblík 2000)
- PROMET-V (Schneider 2003, Schneider 2004)
- STICS (Brisson et al. 2003).

### Datengrundlage

Während der Vegetationsperiode der Braugerste (2007) wird eine Ackerflächen bei Newel (Bitburger Gutland, Rheinland-Pfalz) beprobt, um Informationen über die kleinräumige Variabilität der Pflanzenentwicklung und der sie steuernden Größen zu erhalten. Zu entscheidenden phänologischen Stadien der Braugerste wird eine Rasterbeprobung (30x60m bzw. 30x30m) durchgeführt. Sie liefert Informationen zu Bodenfeuchte, Nmin-Gehalt und pH-Wert, und einmalig zu Corg/Canorg und C/N der einzelnen Bodenhorizonte. Eine Beprobung von Grubenstandorten gibt Anschluss über bodenphysikalische Parameter (pF-Kurve, Porenvolumen, Porenspektrum, Lagerungsdichte, Kf-Werte, Korngrößenanalyse). Diese Informationen werden von hydrologischen (Niederschlagsmessungen), ganzjährigen hydrochemischen Daten (Beprobung eines Drainagerohres auf der Testfläche) und Pflanzenproben (Wurzeltiefe, LAI) ergänzt. Daten der GPS-gesteuerten Ernte werden hinzugezogen. Eine umfangreiche Befragung zur

Bewirtschaftung der Versuchsfläche (Beprobungsjahr plus Vorjahre) und geeignete klimatische Daten runden die Datenerhebung zu Modellierungszwecken ab. Parallel zu den genannten Erhebungen findet eine spektroradiometrische Erfassung von Bodeneigenschaften statt, als Grundlage zur fernerkundlichen Definition pedogener Straten.

### **Modellierung Skalenniveau I (Punktskale)**

Nach der Auswahl geeigneter SVAT-Modelle mit unterschiedlichen Abstraktionsgraden wird für jedes Modell eine fundierte Sensitivitätsstudie ausgeführt. Sie gibt Hinweise auf effektive sowie sensible Parameter, die bei der nachfolgenden Modellparametrisierung besondere Berücksichtigung erfordern. Die vor, während und nach der Vegetationsperiode 2007 gewonnenen Messdaten werden ausgewertet und aufbereitet. Ein Teil dieser Messdaten findet als Modelleingangsgrößen Verwendung. Nach der Modellparametrisierung werden für jeden Standort des Beprobungsrasters eindimensional-vertikale Simulationsläufe durchgeführt. Mit Hilfe von geostatistischen Verfahren und Geographischen Informationssystemen werden die Simulationsergebnisse analysiert, interpoliert und visualisiert. Zusätzliche Standortinformationen, wie Hangneigung, Exposition etc. unterstützen die Mustererkennung noch. Die resultierenden Simulationsergebnisse werden anhand weiterer (punkthafter) Messdaten validiert (Vergleich „modelliert – gemessen“).

Nach Abschluss dieser Arbeiten folgt die Zusammenführung der Modellierungsergebnisse mit den Ergebnissen der fernerkundlichen Datenauswertung. Diese Kreuzvalidierung erlaubt die Identifikation valider räumlicher Muster ebenso wie die Ausübung von Modellkritik.

### **Modellierung Skalenniveau II (Regionalisierung)**

Für die Vegetationsperiode 2008 wird eine mit der Vegetationsperiode 2007 vergleichbare Anzahl an Daten erhoben, die Datenerhebung erfolgt jedoch mit einer entsprechenden maßstabsbedingten Modifikation, d.h. einem angepassten Beprobungsraster, um der Regionalisierung Rechnung zu tragen.

Die Durchführung der Simulationsläufe basiert nun nicht mehr auf den durch Geländebeprobung erlangten Daten bzw. aufbereiteten Modelleingangsgrößen. Grundlage für die Simulation bilden hier die vorausgegangene bildbasierte räumliche Musteridentifikation und Stratifizierung für die Regionalskala. Das bedeutet, die mit Hilfe von Bilddaten identifizierten und mit Geländeerhebungen sowie den Ergebnissen der Modellsimulation von 2007 verglichenen Mustern, stellen die Basis der Datenauswertung auf dem höheren Skalenniveau der Feld- bis Regionalskala für das Jahr 2008 dar. Mithilfe der 2008 im Gelände gewonnenen Messdaten wird nach Abschluss der Simulationsläufe auf Regionalskala eine ausführliche Modellvalidierung durchgeführt.

## **Schluss**

Eine abschließende Zusammenfassung und Diskussion soll Defizite im geplanten Forschungsvorhaben benennen und Anmerkungen zu möglichen Erweiterungen im Forschungskonzept Raum bieten. Dies betrifft sowohl Hinweise zum Beprobungsschema als auch zu inhaltlichen Aspekten.

## **Literatur**

BRISSON, N., C. GARY, E. JUSTES, R. ROCHE, B. MARY, D. RIPOCHE, D. ZIMMER, J. SIERRA, P. BERTUZZI, P. BURGER, F. BUSSIÈRE, Y.M. CABIDOCHÉ, P. CELLIER, P. DEBAEKE, J.P. GAUDILLÈRE, F. MARAUX, F.B. SEGUIN, H. SINOQUET (2003): An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy* 18, 309-332.

- CASPER M., J. GRIMM-STRELE, TH. GUDERA, M. SIMON, P. VAN DIJK, K. RESCH (2004): Modellierung des Nitratreintrages und Nitrattransportes im Grundwasser des Oberrheingrabens. In: Bronstert, A.; Thieken, A., Merz, B., Rhode, M., Menzel, L. (Hrsg.): Wasser- und Stofftransport in heterogenen Einzugsgebieten, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 5/2004.
- DIEKKRÜGER, B., D. SÖNDGERATH, K.C. KERSEBAUM, C.W. McVOY (1995): Validity of agroecosystem models. A comparison of results of different models applied to the same data set. *Ecological Modeling* 81 (1995), pp. 3-29.
- GOMEZ E., E. LEDOUX, B. MARY (2002a): Modélisation de la contamination nitrique des masses d'eau souterraine par les nitrates d'origine agricole. PIREN-Seine, Rapport d'activité 2002. Axe thématique: Agriculture et pollutions diffuses. UMR CNRS 7619 Sisyphe. p. 1-37.
- GOMEZ E., C. MIGNOLET, B. MARY, C. SCHOTT, D. BRUNSTEIN, C. BORNERAND, E. LEDOUX, M. BENOIT (2002b): Dynamiques agricoles et pollution nitrique diffuse : modélisation intégrée du transfert des nitrates sur le bassin de la Seine. Rapport technique, UMR CNRS 7619 Sisyphe.
- HANSEN S. (2002): Daisy, a flexible Soil-Plant-Atmosphere system Model. Equation Section 1. <http://www.dina.kvl.dk/~daisy/ftp/DaisyDescription.doc>.
- HANSEN S., C. THIRUP, J.C. REFGAARD, L.S. JENSEN (2000): Modelling nitrate leaching at different scales – application of the DAISY model. In: *Modelling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management*. CRC Press LLC, 2000, pp. 511-546.
- KERSEBAUM K.C., A.J. BEBLIK (2000): Anwendungsmöglichkeiten und Voraussetzungen beim Einsatz von N-Haushaltsmodellen für den Gewässerschutz. [http://www.hydrologie.tu-cottbus.de/deutsch/projekte\\_d/meson/document/nds\\_circ.pdf](http://www.hydrologie.tu-cottbus.de/deutsch/projekte_d/meson/document/nds_circ.pdf).
- KERSEBAUM K.C., K. LORENZ, H.I. REUTER, J. SCHWARZ, M. WEGEHENKEL, O. WENDROTH (2005): Operational use of agro-meteorological data and GIS to derive site specific nitrogen fertilizer recommendations based on the simulation of soil and crop growth processes. *Physics and Chemistry of the Earth* 30 (2005), pp. 59-67.
- SCHENK, S. & U. FRANKO (1999): Regionale Untersuchung der Stoffflüsse auf dem Gebiet der Querfurter Platte. Bericht über die 8. Lysimetertagung „Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft“, Gumpenstein, 13.-14.4.1999. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Irnding, S. 193-194.
- SCHNEIDER, K. (2003): Assimilating remote sensing data into a land-surface process model. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, Vol. 24, No. 14, pp 2959-2980.
- SCHNEIDER, K. (2004): Prozessbasierte und gekoppelte Modellierung von Wasserflüssen und Pflanzenwachstum mit dem PROMET-V Modell. *Marburger Geographische Schriften*, 2004, 140, pp. 230-254.
- STENGER, R., E., PRIESACK, G. BARKLE, C. SPERR (1999): Expert-N – A tool for simulationg nitrogen and carbon dynamics in the soil-plant-atmosphere system. In: M. Tomer, M. Robinson, G. Gielen (eds.), *NZ Land Treatment Collective Proceedings Technical Session 20: Modelling of Land Treatment Systems*. New Plymouth, New Zealand: (1999), 19-28.
- THOMASSON A. J., J. BOUMA, H. LIETH (1991): Soil and Groundwater Research Report II, Nitrate in Soils. Contract NOS EV4V-0098-NL and EV4V-00107-C-AM. Commission of the European Communities, Luxembourg.
- WILLIGEN, P. DE (1991): Nitrogen turnover in the soil-crop system; comparison of fourteen simulation models. *Fertilizer Research* 27, pp. 141-149.

# Heterogenität des Abbaus von Nitrat im Grundwasser – Berücksichtigung bei der Modellierung

M. Pätsch<sup>1</sup>/W. Walther<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DHI Wasser & Umwelt GmbH  
Wiesenstraße 10a  
28857 Syke – Deutschland

<sup>2</sup> Prof. Dr. - Ing. W. Walther  
(vormals Institut für Grundwasserwirtschaft, TU Dresden)  
Rolandstrasse 41  
31137 Hildesheim - Deutschland

## Zusammenfassung/Summary

Das Institut für Grundwasserwirtschaft hat in Zusammenarbeit und mit Unterstützung durch den Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverband (OOWV) in einem Einzugsgebiet eines Wasserwerkes in Norddeutschland Untersuchungen zur Art des Umsatzes von Nitrat im Grundwasser, zum Umsatzpotential und zu seiner Verteilung im Grundwasserleiter ausgeführt. Die Ergebnisse von Feld- und Laborversuchen werden vorgestellt.

Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen liegt auf der Abbildung der Massenkonzentration und der Verteilung reaktiven Materials für den Umsatz von Nitrat im Untergrund. Die Bedeutung der räumlichen und zeitlichen Heterogenität der Umsatzprozesse für die Prognose von Nitratkonzentrationen im Grundwasser wird diskutiert.

Vorgelegt werden die Tiefenprofile von Nitratkonzentrationen und zum Grundwasseralter, sowie Gesteinsuntersuchungen (physikalisch und chemisch) und Untersuchungen zum Umsatz von Nitrat.

Die gemeinsame Betrachtung aller erhobenen Informationen ermöglichte die Abbildung einer ausgeprägten vertikalen Zonierung des Umsatzes von Nitrat im Grundwasserleiter. Mit einem Strömungs- und Transportmodell wurden unterschiedliche Landnutzungsszenarien durchgespielt, wobei der Verbrauch von reaktivem Material im Modell berücksichtigt wurde. Die Ergebnisse zeigen die teilweise signifikanten Einflüsse auf die zu erwartende Qualität des Grundwassers.

Investigations in a catchment area of a water works in Northern Germany relating to the turnover of nitrate and turnover-potential of nitrate in groundwater and to its distribution were achieved in co-operation and with support by the Oldenburgisch Ostfriesischer Wasserverband (OOWV) from the Institute for Groundwater Management, TU Dresden, Germany.

The results of field and lab tests are presented.

The special attention of the investigations is on the illustration of the mass concentration and distribution of reactive material for the turnover of nitrate in the underground. The meaning of the spatial and temporal heterogeneity of the turnover processes for the prognosis of nitrate concentrations in the groundwater is discussed.

The depth profiles of nitrate concentrations and groundwater age are presented, as well as soil investigations (physical and chemical) and investigations of the turnover of nitrate.

The common view of all raised information leads to a vertical zoning of the turnover of nitrate in groundwater. In a flow- and transport model different land use scenarios were simulated taking into consideration the consumption of reactive material in groundwater.

The results show the partial significant influences on the quality of raw water.

# 1 Einleitung

Nach wie vor sind die Austräge von Nährstoffen in das Grundwasser bei landwirtschaftlicher Bodennutzung hoch. Um die Belastungen der Gewässer durch die Landwirtschaft weiter zu reduzieren, sind Maßnahmen auf der administrativen wie auf der technischen Seite notwendig. Maßnahmen auf der technischen Seite sind dabei in ein Gebietsmanagement eingebettet. Die Voraussetzung für ein Gebietsmanagement und damit z.B. die Ausweisung der Vulnerabilität von bewirtschafteten Flächen, ist die Kenntnis der Einträge, der Transportwege und -zeiten, sowie der Art und des Potentials von Umsatzprozessen. Hier ist der Wissensstand jedoch häufig noch zu gering, um gesicherte Prognosen für die Wasserwirtschaft abzugeben.

Das Institut für Grundwasserwirtschaft hat in Zusammenarbeit und mit Unterstützung durch den OOWV in einem Einzugsgebiet eines Wasserwerkes in Norddeutschland Untersuchungen zur Art des Umsatzes von Nitrat im Grundwasser, zum Umsatzpotential und zu seiner Verteilung im Grundwasserleiter ausgeführt (WALTHER et al., 2002; PÄTSCH et al., 2004; PÄTSCH, 2007; OSTER & PÄTSCH, 2001)

# 2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Region Cloppenburg-Vechta, einer Region mit intensiver Pflanzenproduktion und Tierhaltung (Fig. 1). Dies führt u.a. zu hohen Stickstoffemissionen und in der Folge davon zu Nitratkonzentrationen zwischen <1 bis 300 mg/l Nitrat im Grundwasser. Nach etwa 40 Jahre intensiver Bewirtschaftung reicht die Nitratfront zum gegenwärtigen Zeitpunkt bis in eine Tiefe von bis zu 30 m unter Gelände. Bis zur Vertiefung im Zuge einer Revision der Entnahmehrunden im Jahr 2002 enthielt das Rohwasser der Brunnen im Schnitt weniger als 1 mg/l Nitrat (Entnahme von Wasser aus 30 – 80 m unter Gelände).

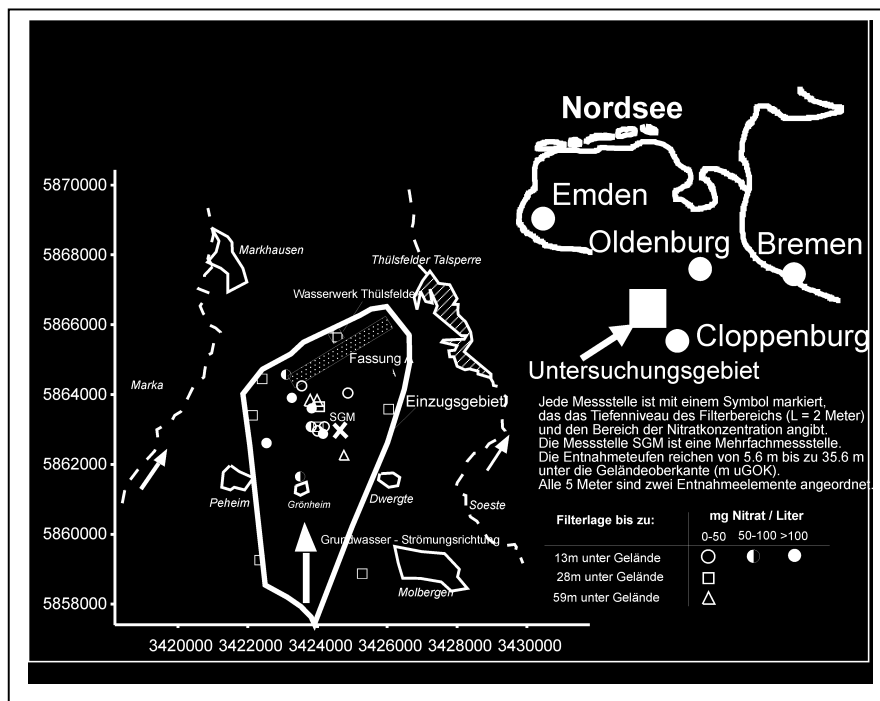


Fig. 1. Untersuchungsgebiet

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Tiefenprofile von Nitrat Konzentrationen / Grundwasser Alter

Das Tiefenprofil der Nitratkonzentrationen zeigt Fig. 2 (oben) für ausgewählte Messstellen. Die Auswertung weiterer redox-sensitiver Parameter ( $O_2$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , Sulfat) der Grundwasserbeschaffenheit zeigte im Ergebnis eine scharfe Untergliederung des Grundwasserleiters. Für die nachfolgende Modellierung des Nitrattransportes wurden so reduzierte und oxidierte Zonen im Grundwasserleiter ausgewiesen.

Mittels der FCKW-Methode wurde für den Grundwasserleiter im Einzugsgebiet die Grundwasseraltersverteilung ermittelt (Fig.2 - unten). Die vertikale Abstandsgeschwindigkeit konnte zu 1 m/a geschätzt werden (horizontale Abstandsgeschwindigkeit 80 - 100 m/a).

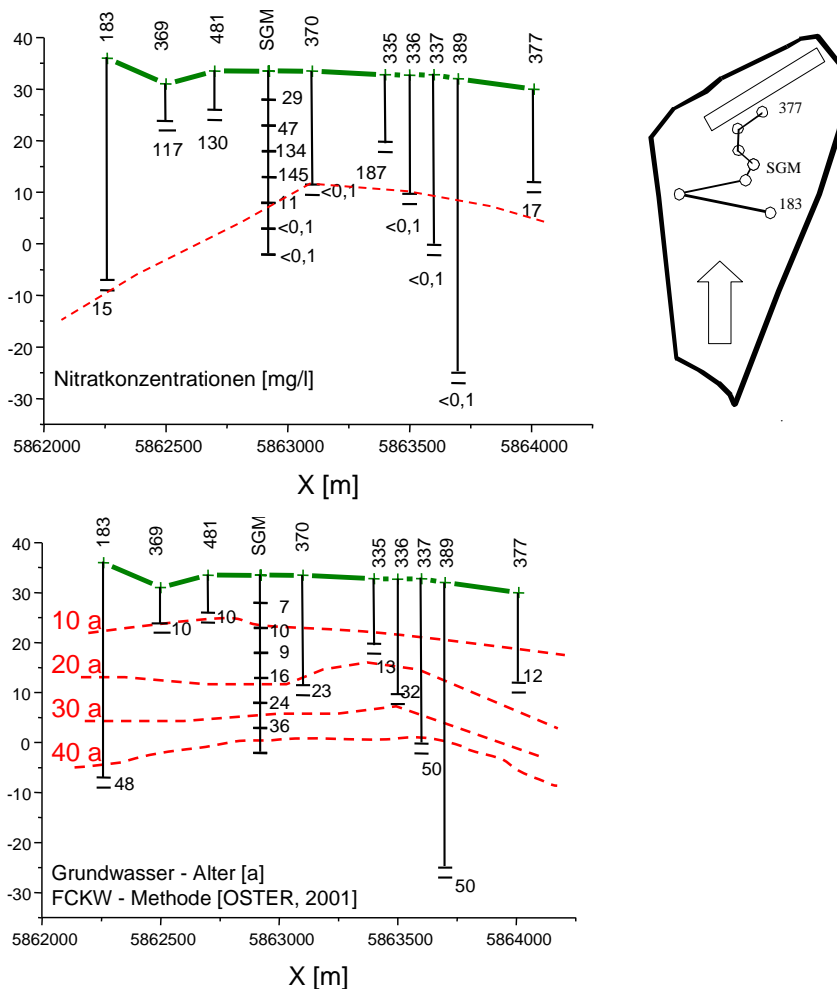


Fig. 2. Längsschnitte der Nitratkonzentrationen (oben) und Grundwasser-Altersverteilungen (unten)

### 3.2 Gestein – Tiefenprofile

Physikalische und geochemische Parameter, wie z.B. hydraulische Leitfähigkeit (K-Wert) oder Kohlenstoff- und Schwefel-Spezies sind heterogen im Untergrund verteilt. Die analysierten Parameter folgen dabei entweder der Normal- oder der log-Normal-Verteilung. Mit zunehmender Tiefe wurden im Mittel signifikant höhere Massenkonzentrationen Gesamtschwefel und sulfidischer Schwefel gefunden (Fig. 3).

### 3.3 Gestein – Untersuchungen zum Umsatz

Die Ergebnisse von Versuchen zum Umsatz von Nitrat in Batch- und Säulenversuchen zeigten, dass der dominierende Abbauprozess die autotrophe Denitrifikation durch Sulfidschwefel ist. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass im oberen Horizont des Grundwasserleiters (zwischen 33 - 18 mNN) für die untersuchten Lokationen kein oder nur geringfügiger bzw. unvollständiger Abbau von Nitrat stattfindet. Nitratabbauleistungen über 50 % werden generell erst ab einer Tiefe von 18 mNN (entspricht im Mittel 20 m unter GOK) identifiziert (Fig. 3).

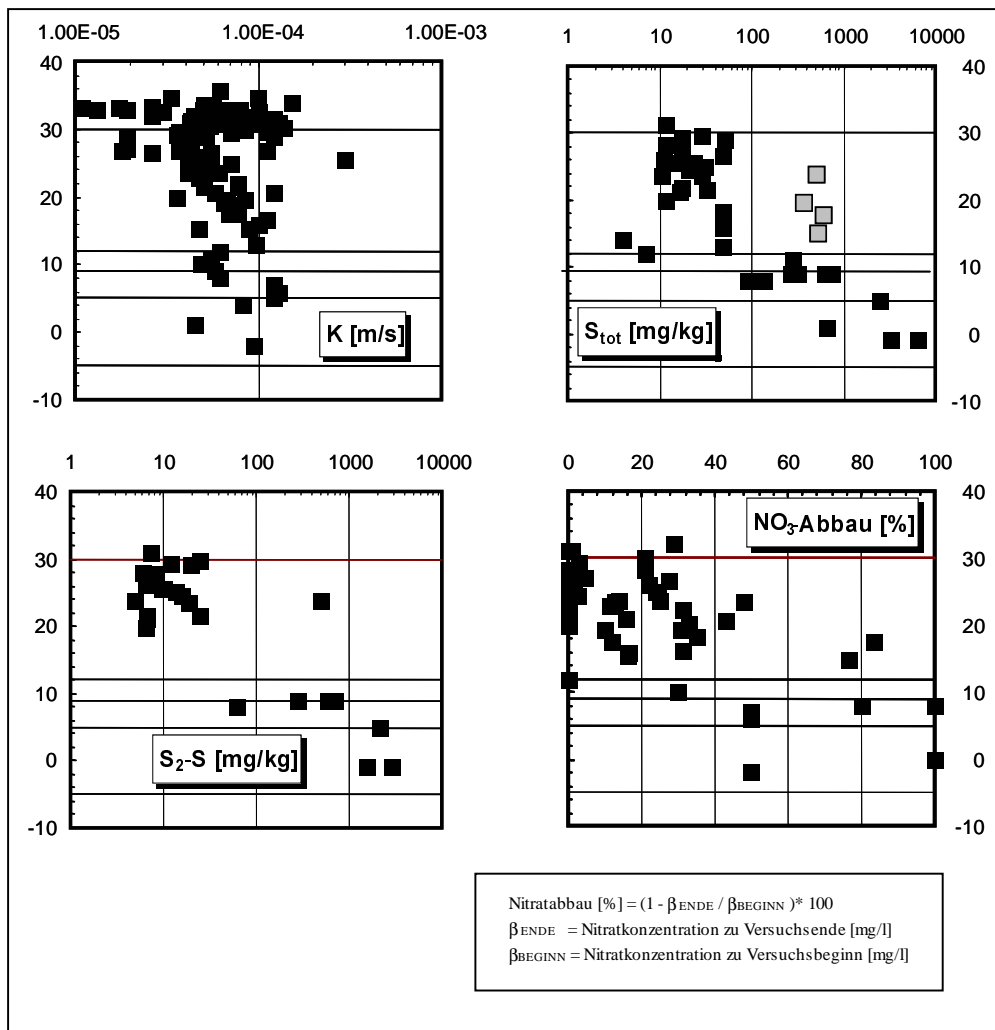


Fig. 3. Tiefenprofile von Parametern des Grundwasserleiters



Mit zunehmender Tiefe stiegen die beobachteten Abbauraten an. Dieser Anstieg korrelierte positiv mit den Massenkonzentrationen von Gesamtschwefel.

Aus der gemeinsamen Betrachtung der Daten zur Grundwasserbeschaffenheit, den Ergebnissen aus den Gesteinsuntersuchungen und den Abbauversuchen wurde für den Modellraum eine Zonierung der Reaktionsräume vorgenommen. Die Zonierung bezog sich dabei auf die Massenkonzentrationen reaktiven Materials (Schwefel), sowie auf über die Tiefe unterschiedliche Reaktionskonstanten, die in den Batch- und Säulenversuchen ermittelt wurden.

## 4 Modellierung

Die gemeinsame Betrachtung aller erhobenen Informationen ermöglichte die Abbildung einer ausgeprägten vertikalen Zonierung des Umsatzes von Nitrat im Grundwasserleiter. Mit einem Strömungs- und Transportmodell wurden unterschiedliche Landnutzungsszenarien durchgespielt. Dabei wurde die Verteilung reaktiven Materials sowie der Verbrauch durch den Prozess der Denitrifikation im Modell berücksichtigt. Die Berücksichtigung erfolgte auf einfache Art und Weise (siehe PÄTSCH, 2007):

- das Modell wurde in Schichten mit 1 m Schichtdicke eingeteilt
- jeder Schicht wurde eine Massenkonzentration reaktiven Materials (hier: Pyrit) zugeordnet (entsprechend den Ergebnissen aus den Gesteinsuntersuchungen)
- Denitrifikation wurde als Nitratsenke überall im Einzugsgebiet angenommen
- der Nitratreintrag wurde für unterschiedlichen Szenarien (Landnutzung) festgelegt
- in Abhängigkeit der mittleren Grundwasserneubildung wurde für jede Schicht eine stöchiometrisch ermittelte Verfügbarkeit bzw. die Geschwindigkeit der Nitratfront berechnet
- stand in einer betrachteten Schicht kein reaktives Material mehr zur Verfügung, wurde sie als reaktive Schicht im nächsten Betrachtungszeitraum nicht mehr berücksichtigt

Die Ergebnisse zeigen die teilweise signifikanten Einflüsse auf die zu erwartende Qualität des Rohwassers.

Beispielhaft ist dies in Fig. 4 für den Entnahmepunkt F17 (Messpunkt Filteroberkante) der untersuchten Fassung dargestellt.

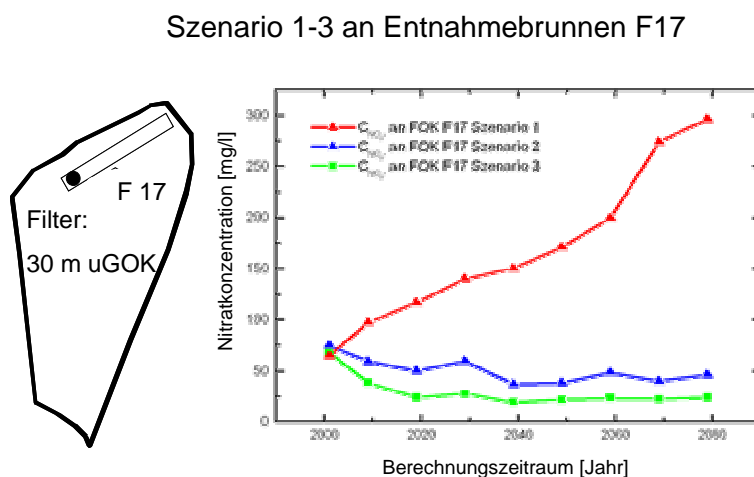


Fig. 4. Verlauf prognostizierter Nitratkonzentrationen – Szenarien

Für das *Szenario 1* wurde in einer Worst-Case-Betrachtung von einem gleich bleibend hohen Nitrateintrag in das Grundwasser (Anfangsbedingung aus inverser Modellierung, im Mittel im Gebiet: 228 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ausgegangen. Dies führte in den folgenden Jahren zu dem starken Anstieg der Nitratkonzentrationen im Fassungsbrunnen (Oberkante Fassungsbrunnen).

Im *Szenario 2* wurde ausgehend von der gleichen Anfangskonzentration der Nitrateintrag verringert (im Mittel im Gebiet: 110 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Die Dämpfungswirkung reaktiver Schichten führt zu dem in Fig. 4 dargestellten Verlauf.

In *Szenario 3* führt diese Dämpfungswirkung in Verbindung mit einer durch ökologische Bewirtschaftung erreichten Verminderung des Nitrateintrages in das Grundwasser auf im Mittel 52 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und zu einem Absinken der Nitratkonzentrationen im Fassungsbrunnen auf unter 50 mg/l.

## 5 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Studien zeigen summarisch den möglichen Einfluss einer berücksichtigten Nitratsenke im Grundwasserleiter. Dabei wurden Ergebnisse aus Gesteins- und Abbauntersuchungen von Probenmaterial aus 11 flachen Bohrungen (bis 20 m u. GOK) sowie einer tiefen Bohrung (40 m u. GOK) verwendet. Es zeigte sich, dass Gesteinsparameter heterogen über die Tiefe verteilt sind. Mit zunehmender Tiefe wurden höhere Massenkonzentrationen gefunden. Der Nitratabbau zeigt sich heterogen über die Tiefe verteilt, mit zunehmender Tiefe wurden höhere Abbaugrade ermittelt. Ein maßgeblicher Abbau ist im Untersuchungsgebiet erst ab einer Tiefe von etwa 20 m u. GOK zu erwarten. Als maßgeblicher Prozess wurde die autotrophe Denitrifikation identifiziert, für die Abbaureaktionen wurden Reaktionen 1. und 0. Ordnung angepasst. Es konnten Korrelationen zwischen Gesteinsparametern und dem Abbauverhalten über die Tiefe festgestellt werden. Die im Modell eingebauten reaktiven Schichten haben eine dämpfende Wirkung; sind sie aufgebraucht steigen die Nitratkonzentrationen stark an.

Es bleibt auf Grund der Datenlage für das Untersuchungsgebiet weiterhin unsicher, über welchen Zeitraum Grundwasser in hoher Qualität gefördert werden kann.

## Literatur/References

WALTHER, W., MIODUSZEWSKI, W., DIANKOV, Z., QUERNER, E., PÄTSCH, M., FIC, M., VELKOVSKY, G., F. REINSTORF, MARINOV, D., WELLER, D., SLESICKA, A., RADOSLAVOV, S. J., NITCHEVA, O., ROELSMA, J., 2002: Development of tools needed for an impact analysis for groundwater quality due to changing of agricultural soil use. Final Report, 4th Framework Programme INCO-COPERNICUS of EU, Contract number IC 15-CT98-0131.

PÄTSCH, M.; WALTHER, W.; REINSTORF, F.; WELLER, D., 2004: Development of suitable tools for the management of nitrogen emissions out of soils into groundwater in agriculturally used catchment areas, northern low plain of Germany, RBHP-Congress, Hefei City (Anhui), China, 22-31 March.

PÄTSCH, M., 2007: Analyse des Depots des Nitratumsatzes und dessen Heterogenität im quartären Grundwasserleiter des Wasserwerkes Thußfeld / Emsland – Berücksichtigung bei der Modellierung des Transportes. Dissertation TU Dresden.

OSTER, H., PÄTSCH, M. (2001): Grundwasseraltersbestimmungen mit Fluorchlorkohlenwasserstoffen im Einzugsgebiet des Wasserwerks Thußfeld. Forschungsbericht OOWV vom 30.8.2001 (unveröffentlicht). (Groundwater age dating with chlorofluorocarbons in the Thußfeld catchment area.) Research report (not published).

# Fate of Isoxaflutole and its Diketonitrile Metabolite under Conventional and Conservation Tillage in an Irrigated Continuous-Maize Field

L. Alletto<sup>a,b</sup>/Y. Coquet<sup>b</sup>/C. Labat<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan, Agronomy Department – 75, voie du TOEC BP 57 611, 31 076 Toulouse cedex 3, France. <sup>b</sup>UMR INRA/INA PG Environment and Arable Crops, Institut National de la Recherche Agronomique/Institut National Agronomique Paris-Grignon, BP 01, 78 850 Thiverval-Grignon, France.)

## Zusammenfassung

Auf einem ständig mit Mais angebauten Feld verglichen wir die Auswirkungen der Bodenbearbeitung und des Managements der unbebauten Zwischenzeit auf die Entwicklung des Herbizids Isoxaflutole (IFT) und des aktiven Bekämpfungsmittels (DKN) miteinander. Die Hälfte des Lebens des IFT war kurz (< 1 Tag). Bei der konventionellen Bodenbearbeitung (CT) betrug die Eindringtiefe des IFT weniger als 10 cm und DKN bestand in einer Bodentiefe von maximal 30 cm. Während der Anbauzeit wurde bei der konventionellen Bodenbearbeitung (CT) mehr Wasser in einer Bodentiefe von 40 cm in den Infiltrationsmessern gesammelt als bei der konservierenden Bodenbearbeitung (MT). Bei der konventionellen Bodenbearbeitung (CT) gingen 15 % des benutzten IFT durch Infiltration verloren, hingegen gingen bei der konservierenden Bodenbewirtschaftung (MT) auf einem bepflanzten Gelände in der unbebauten Zwischenzeit weniger als 2 % verloren.

## Introduction

Tillage practices can have a major effect on the physical, chemical and biological properties of soils which control the fate of applied chemicals. Conservation tillage is defined as any tillage operation that leaves  $\geq 30$  % cover of the soil surface by plant residues after sowing (Gebhardt et al., 1985). Accumulation of partially decomposed plant residues in conservation tillage and cover crop management systems can affect herbicide availability and its fate in soils (Reddy et al., 1997). Furthermore, the formation of undisturbed macropores under conservation tillage could enhance the leaching of pesticides to groundwater (Isensee et al., 1990; Locke and Harper, 1991). Isoxaflutole, [5-cyclopropyl isoxazol-4-yl-2-mesyl-4-trifluoromethylphenyl ketone] (IFT) is a preemergence proherbicide used to control annual grasses and broad-leaves weeds in maize, in replacement of atrazine. In soil, plant and water, the hydrolysis of IFT forms the diketonitrile metabolite [2-cyclopropyl-3-(2-mesyl-4-trifluoromethylphenyl)-3-oxopropanenitrile] (DKN) which is the active principle (Pallett et al., 2001). In-field degradation half-life of IFT was found to range from 9 to 18 days (Rouchaud et al., 2002). The aqueous solubility of DKN is 50 times greater than that of IFT (326 vs. 6.2 mg L<sup>-1</sup>) (Beltran et al., 2002) with a lower  $K_{oc}$  than IFT (Mitra et al., 2000). It could thus be expected that DKN would have a higher mobility potential than IFT. A better understanding of tillage effects on the fate of IFT and DKN is needed to evaluate more fully their potential consequences on water quality. The objective of this research was to evaluate the leaching potential of IFT and DKN in conventional (CT) and conservation (MT) tillage practices with or without crop cover during the intercrop season in a continuous maize field located in the south of France.

## Materials and methods

Field experiments were conducted in 2005 in an agricultural field situated in the alluvial corridor of the Garonne River (France). The soil was a Gleyic Luvisol with a loamy surface layer and an illuvial clay horizon appearing between 45 and 55 cm. The field was in continuous maize (*Zea mays*) production irrigated with a centre pivot.

Since 2000, the field was divided in two plots conducted with conventional (CT) or conservation (MT) tillage. During the intercrop period, each tillage plot was divided in two part: one part conducted without cover crop (bare soil), the other part sown with oat (*Avena sativa*). The CT plot was mouldboard ploughed (working depth of 28-30 cm) followed by a cultivator combined with a roller (working depth of 8 cm) the first week of April. Seedbed preparation was done with two passages of a cultivator combined with a harrow and a roller (working depth of 8 cm). The MT plot was disked (working depth of 9-12 cm) the second week of November 2004. In March, a secondary operation was done with a cultivator combined with a harrow and a roller (working depth of 8 cm). For seedbed preparation, a single passage with a harrow combined with a roller was realized. In the CT plot, soil surface had no crop residue. In the MT plot, according to the intercrop management, soil surface was covered with only maize residues or with a mix of maize and oat residues. Both tillage treatments were planted the 1<sup>st</sup> May 2005 with a six-row planter in 80-cm rows at a plant population of 75 000 plants ha<sup>-1</sup>.

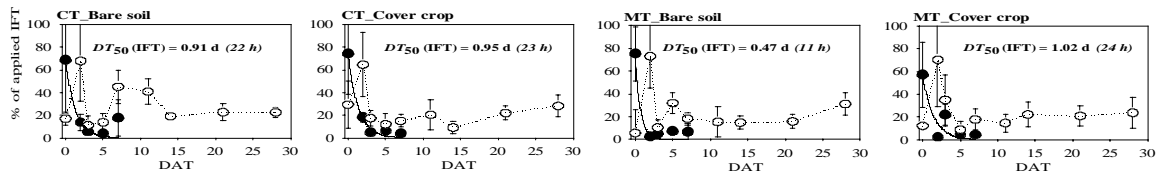
Four days after sowing, isoxaflutole was applied at 75 g a.i. ha<sup>-1</sup> on both tillage treatments. Distribution and recovery of herbicide residues were determined from soil core analysis. Fractions of the soil profile were sampled to a depth of 80 cm before herbicide application and at 0, 2, 3, 5, 7, 11, 14, 21 and 28 days after treatment (DAT). For each plot, sampling time and depth, ten soil samples were collected. These data were used to calculate half-lives and migration depth under the different cropping systems. Under each tillage and intercrop management plots, two passive capillary fibreglass wick lysimeters (25 cm x 25 cm) installed at 40-cm depth collected leachate volumes. Herbicide mass leached was calculated from herbicide concentrations in water and corresponding percolate volume. These data were used to calculate percentage loss of herbicides of each tillage system.

## Results and discussion

### Persistence of IFT

Whatever the cropping system, isoxaflutole degradation was fast ( $\leq 1$  day), and 7 DAT, IFT was not detected in soil samples (Fig. 1). The amplitude of variation of IFT concentration at each sampling date was related to a spatial variability of spraying and of soil degradation capacities within each cropping system.

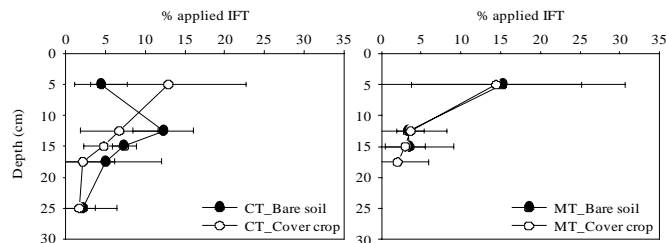
Half-lives of IFT were not significantly different between tillage practices without distinction of cover crop management (22 h for CT vs. 16 h for MT). In the MT system, we found a faster degradation of IFT on the plot without cover crop (11 vs. 24 h). Sorption of IFT was found to range from 25 (Rice et al., 2004) to 708 L kg<sup>-1</sup> OC (Beltran et al., 2002) and was correlated with organic matter content (Mitra et al., 1999). A more important interception on the MT plot with cover crop due to a higher amount of residues (maize + oat) than under the bare soil plot (with only maize residues) may have occurred. On one side, some studies showed that IFT degradation was an abiotic process that was catalysed by retention on solid phase (Rice et al., 2004). On other side, Rouchaud et al. (2002) found that adsorption of IFT on the soil organic matter could increase its persistence. Our results were more in agreement with this second statement. On the CT plot, ploughing did not leave any residue on soil surface, and that could explain the similar values of  $DT_{50}$  under the two plots.



**Fig.1.** Isoxaflutole persistence under conventional (CT) and conservation (MT) tillage with or without cover crop during the intercrop. Data of IFT concentration (black circles) were fitted with first order kinetics. Open circles represent DKN concentration and error bars represent 95% confidence limits of the mean values.

### Distribution in soil

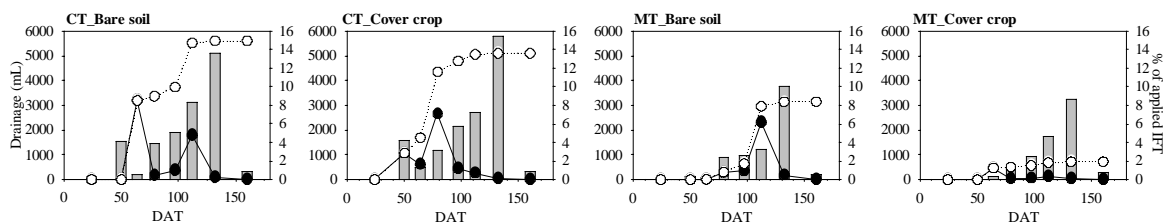
The maximum migration depth in soil for IFT was 10 cm for all the cropping systems (data not shown). Under MT plots, 15 % of applied dose was found as DKN form in the seedbed layer 28 DAT and DKN reached a maximum of 17.5-cm depth. Under CT, migration was more important and in the bare soil plot, a peak of DKN was found at 12.5-cm depth with a maximum migration depth of 25 cm. This faster migration could be attributed to the higher infiltration capacities under CT than MT due to ploughing.



**Fig.2.** Soil DKN distribution 28 DAT under the different cropping systems. Error bars represent 95% confidence limits of the mean values.

### Water and herbicide leaching

We found significantly lower leachate volumes under MT than under CT (Fig. 3) to the difference of what was observed in previous studies (Isensee et al., 1990). Under CT, tillage operations were done few weeks before sowing while under MT, disk harrowing was realized seven months before sowing. Timing of tillage practices could explain these differences in leachate volumes.



**Fig.3.** Leachate volumes and DKN concentration under the different cropping systems from sowing to harvest. Vertical bars are leachate volumes (mL), black circles are DKN concentrations expressed as % of applied IFT and open circles are cumulated loss of herbicide.

Isoxaflutole has not been detected in water samples. Diketonitrile started to be quantified 50 DAT under CT with cover crop ( $1.34 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Concentration peaks of DKN appeared earlier under CT plots than under MT plots. We reached a maximum of 8.5 % of applied IFT 64 DAT under CT with bare soil. Under MT with cover crop, concentrations of DKN were the lowest during the

whole growing season. Cumulated losses of herbicide were almost 15 % of applied dose under CT. Under MT, more than 8 % of applied dose were found in water samples in the plot without cover crop while less than 2 % were found in the plot with cover crop. According to the lowest degradation found on this plot, we expected higher losses. The slowest migration measured on the MT plots compared to CT plots could have lead to a more important degradation of the herbicide. We also believed that degradation capacities of the different soil layers in the two tillage systems were not equivalent and were maybe larger at depth under MT than under CT as found for fluometuron by Zablotowicz et al. (2000).

## Conclusion

We studied the effect of tillage practices and intercrop management on the fate of isoxaflutole and its diketonitrile metabolite in a loamy soil. Isoxaflutole had a rapid degradation and a very limited migration in soil. Its metabolite had a more important mobility and was detected in soil solution. Conventional tillage system had the highest amount of herbicide that leached whatever the intercrop management. In our study, conservation technique seemed to reduce losses of herbicide and this effect was enhanced when intercrop was managed with a cover crop.

## References

- BELTRAN, E., H. FENET, J.F. COOPER & C.M. COSTE (2002): Influence of the physical and chemical properties of soil on the retention process of isoxaflutole and its two main derivatives. *Weed Res.* 42, 385-393.
- GEBHARDT, M.R., T.C. DANIEL, E.E. SCHWEIZER & R.R. ALLMARAS (1985): Conservation tillage. *Science* 230, 625-630.
- ISENSEE, A.R., R.G. NASH & C.S. HELLING (1990): Effect of conventional vs. no-tillage on pesticide leaching to shallow groundwater. *J. Environ. Qual.* 19, 434-440.
- LOCKE, M.A. & S.S. HARPER (1991): Metribuzin degradation in soil: II- Effects of tillage. *Pest. Sci.* 31, 239-247.
- MITRA, S., P.C. BHOWMIK & B.S. XING (1999): Sorption of isoxaflutole by five different soils varying in physical and chemical properties. *Pest. Sci.* 55, 935-942.
- MITRA, S., P.C. BHOWMIK & B. XING (2000): Sorption and desorption of the diketonitrile metabolite of isoxaflutole in soils. *Environ. Poll.* 108, 183-190.
- PALLET, K.E., S.M. CRAMP, J.P. LITTLE, P. VEERASEKARAN, A.J. CRUDACE & A.E. SLATER (2001): Isoxaflutole: the background to its discovery and the basis of its herbicidal properties. *Pest Manag. Sci.* 57, 133-142.
- REDDY, K.N., M.A. LOCKE & L.A. GASTON (1997): Tillage and cover crop effects on cyanazine adsorption and desorption kinetics. *Soil Sci.* 162, 501-509.
- RICE, P.J., W.C. KOSKINEN & M.J. CARRIZOSA (2004): Effect of soil properties on the degradation of isoxaflutole and the sorption-desorption of isoxaflutole and its diketonitrile degradate. *J Agric. Food Chem.* 52, 7621-7627.
- ROUCHAUD, J., O. NEUS, H. EELEN & R. BULCKE (2002): Soil metabolism of isoxaflutole in corn. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 42, 280-285.
- ZABLOTOWICZ, R.M., M.A. LOCKE, L.A. GASTON & C.T. BRYSON (2000): Interactions of tillage and soil depth on fluometuron degradation in a Dundee silt loam soil. *Soil Till. Res.* 57, 61-68.

# Validierung der Sickerwasserprognose mit den Materialien Hausmüllverbrennungsasche, Abbruchmaterial und PAK-belasteten Boden in Großlysimetern

Th. Pütz / H. Rützel / H. Vereecken

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institute of Chemistry and Dynamics of the Geosphere: Agrosphere (ICG-IV)  
Leo-Brandt-Str.  
D-52425 Jülich, Germany

## Summary

Recycling materials are mixtures of varying components and possibly contain water soluble components which are dangerous for the ground water. The aim of our study was to test the leaching potential of three typical, widely used recycling materials in a lysimeter experiment under outdoor conditions. Three round lysimeters (2 m<sup>2</sup> surface, 2.5 m depth) were filled with soil monoliths. The three tested recycling materials were a PAH contaminated soil, ash of domestic waste and material of road and house demolition. For installation of the recycling materials, the top 80 cm of the soil monolith were dugged out. Around 1.5 t of each material were installed into the lysimeter as a 50 cm thick layer. The remaining 30 cm up to the top of each lysimeter were filled up with gravel. For soil solution sampling, suction candles were installed at 85, 115 and 180 cm depth. Bromide and D<sub>2</sub>O were applied as conservative water tracers to characterize the water movement. 2,6-di-fluorobenzoic acid was applied as a well known reactive tracer. Each month, soil solutions and leachates were collected and analyzed. The leaching situation of the lysimeters reflected a worst case scenario, because a rapid vertical transport was induced by high amounts of precipitation and the bare gravel surface. Among the analyzed heavy metals, lead was immobile, copper, nickel and zinc were less mobile and chromium and cadmium were mobile. As for the PAH contaminated soil, no relevant leaching of PAH was observed.

## Einleitung

Große Mengen schwach kontaminierter Recyclingmaterialien werden zur Untergrundbefestigung von Wegen sowie zum Straßen- und Wegebau verwendet. Hierbei ist nicht geklärt, ob diese Materialien wasserlösliche Begleitstoffe enthalten, die mittel- bis langfristig eine Gefährdung für unsere Grundwasserressourcen darstellen. Die Ziele des BMBF-Forschungsschwerpunktes „Sickerwasserprognose“ sind:

- 1.) mögliche Grundwasserkontaminationen abzuschätzen und
- 2.) Testverfahren zu entwickeln, die die Quellstärke grundwassergefährdender Stoffe aus Recyclingmaterial zuverlässig und schnell bestimmen.

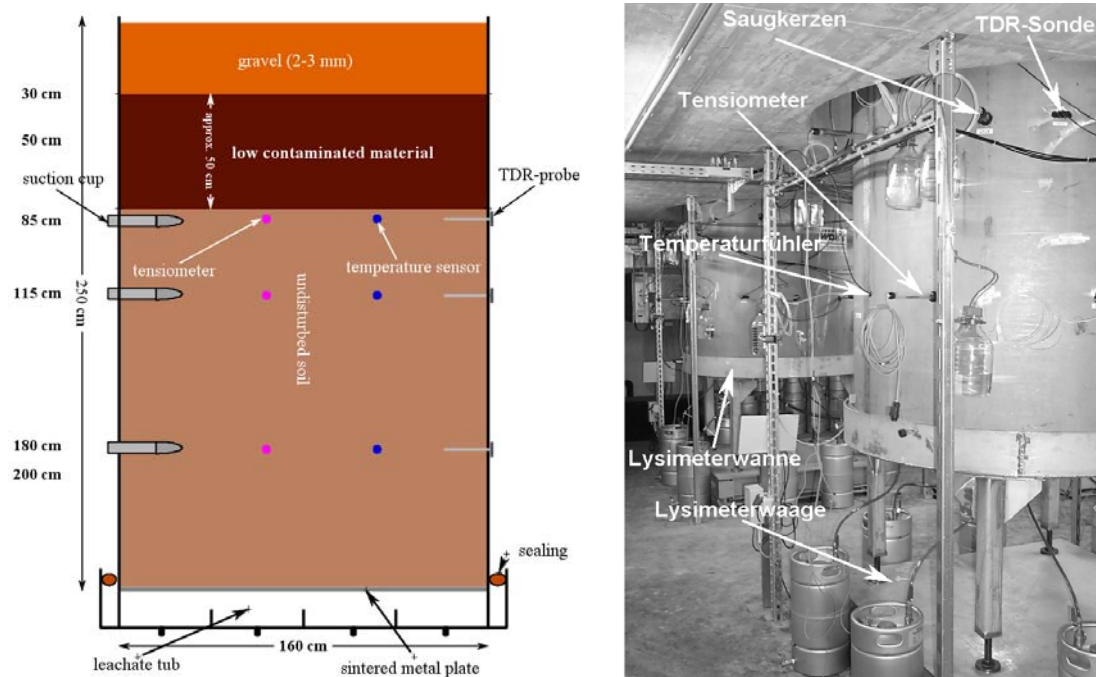
Zur Validierung dieser Untersuchungen sind realitätsnahe Daten notwendig, die alle relevanten Detailprozesse umfassen und unter Freilandbedingungen gewonnen wurden.

## Material und Methoden

Die Versuche wurden mit vier wägbaren Großlysimetern (L: 2,5 m; F: 2,0 m<sup>2</sup>) in einer klimatisierten, unterkellerten Anlage durchgeführt. Die Bodenlösungsgewinnung erfolgte über Borosilikatglas-Saugkerzen mit 180 hPa Unterdruck in den Tiefen 0,85 m, 1,15 m und 1,85 m

unter Geländeoberkante (GOK). In diesen Tiefen wurden auch Tensiometer, TDR-Sonden und Temperaturfühler installiert. Über Edelstahlintermetallplatten an den Lysimetersohlen und einem konstanten Unterdruck von 30 hPa wurde ein feldnaher Wasserfluss sichergestellt und der unerwünschte Sickerwasserstau verhindert. Die Großlysimeter waren mit Parabraunerde-Monolithen aus Löß befüllt.

Vor der Applikation wurde aus den vier Lysimetern der Boden bis zu einer Tiefe von 0,80 m entnommen. Zur Beschreibung des Stofftransportes und der Wasserbewegung wurden am 08./09. April 2002 auf die Böden aller vier Lysimeter in 0,80 m Tiefe unter GOK die beiden Indikatorstoffe Isoproturon und 2,6 Di-Fluorbenzoesäure sowie der Wassertracer Bromid appliziert. Anschließend wurden die Referenzmaterialien „Boden“, „Hausmüllverbrennungasche“ (Asche) sowie „Bauschutt“ eingebaut (Tabelle 1) und abschließend eine Grobsandschicht entsprechend der Differenz aus entnommener Bodenschicht abzüglich Mächtigkeit der eingefüllten Referenzmaterialien aufgebracht (Tabelle1). Im Kontrolllysimeter wurde eine 0,80 m mächtige Grobsandschicht eingefüllt. Auf den Grobsand aller Lysimeter wurde als Wassertracer 65 %-iges Deuteriumoxid (D<sub>2</sub>O) eingeregnet.



**Figure 1.** Querschnitt eines Lysimeters (links), Ansicht der Lysimeter im Lysimeterkeller (rechts). Cross section of a lysimeter (left), view of the lysimeters in the lysimeter cellar (right).

Die Probenahme der Bodenlösungen und der Perkolate erfolgte monatlich. Um der Niederschlagsmenge des Parallelstandortes München-Neuherberg zu entsprechen, wurde mit Millipore-Wasser in Gaben von 10 - 20 mm mittels Tropfer (208 Stück, Raster von 10 cm x 10 cm) beregnet. Der Bewuchs auf den Lysimetern wurde mechanisch entfernt.

## Ergebnisse

Die bisherige Versuchsdauer umfasst 34 Monate. Der Perkolatmengenanteil der einzelnen Lysimeter an den Niederschlägen und der Zusatzberegnung lag zwischen 63 und 72 %. Unter Berücksichtigung der entnommenen Bodenlösungen erhöhten sich die Anteile auf 78 - 82 %. Insgesamt wurden 25 verschiedene Messgrößen analysiert, wovon einige Ergebnisse beispielhaft präsentiert werden.

Der Wassertracer Bromid wurde mit Bodenlösungen und Perkolaten mit Wiederfindungsraten von 86 - 105 % aus den Lysimetern ausgetragen. Die Lysimeter zeigen ein sehr ähnliches



Bromidverlagerungsverhalten, wobei der Kontrolllysimeter einen tendenziell schnelleren Durchbruch aufweist, der durch die höchste Perkolatmenge erklärt werden kann. Die deutliche Peakverbreiterung und die Abflachung des Kurvenverlaufes sind typisch für eine Tiefenverlagerung. Der Wassertracer D<sub>2</sub>O weist dem Bromid vergleichbare Kurvenverläufe auf.

**Table 1.** Kenngrößen der Referenzmaterialien „Boden“, „Bauschutt“ und „Asche“. Parameter of the reference materials „soil“, „demolition“ and „ash“.

Parameter	„Soil“	„Demolition“	„Ash“
Filled amount [kg]	1510,0	1660,0	1544,2
Layer thickness [m]	0,47	0,46	0,45
Acenaphthene [mg kg <sup>-1</sup> ]	10-50	1-5	n.m.
Anthracene [mg kg <sup>-1</sup> ]	1-5	1-5	n.m.
Fluorene [mg kg <sup>-1</sup> ]	10-50	1-5	n.m.
Phenanthrene [mg kg <sup>-1</sup> ]	10-50	5-10	n.m.
As [mg kg <sup>-1</sup> ]	n.d.	1-5	5-10
Pb [mg kg <sup>-1</sup> ]	5-10	10-50	500-1000
Cu [mg kg <sup>-1</sup> ]	10-50	10-50	1000-2000
Zn [mg kg <sup>-1</sup> ]	10-50	50-100	2000-3000
Ca [g kg <sup>-1</sup> ]	10-50	10-50	50-100

n.m. = not measured, n.d. = not detectable

Die 2,6-Di-Fluorbenzoesäure (DFB) wurde mit den Bodenlösungen und den Perkolaten mit Wiederfindungsraten von 92 - 96 % aus den Lysimetern ausgetragen. Mit Ausnahme des Lysimeters „Asche“ wurde bei der letzten Probenahme in den Bodenlösungen kein DFB mehr analysiert. Lediglich in den Perkolaten wurden noch nennenswerte DFB-Mengen nachgewiesen. Das DFB-Verlagerungsverhalten wird durch die organische Substanz des Bodens nachhaltig beeinflusst (Dressel, 2004). Da aber die Applikationsfläche 0,80 m unter GOK lag und die C<sub>org</sub>-Gehalte in dieser Tiefe äußerst gering waren (C<sub>org</sub>: < 0,1 %), wies DFB ein dem Wassertracer Bromid vergleichbares Verlagerungsverhalten auf. Die Referenzsubstanz IPU wurde zu Versuchsbeginn zeitgleich in allen Beprobungstiefen gemessen, wobei eine deutliche Konzentrationsabnahme mit der Tiefe beobachtet wurde. Mit Ausnahme des Kontrolllysimeters wurde bei späteren Probenahmetermen kein IPU mehr nachgewiesen.

Von den eingebrachten PAKs waren aufgrund der aufgebrauchten Mengen nur Anthracen, Acenaphthen, Phenanthren und Fluoren in den Bodenlösungen bzw. in den Perkolaten zu erwarten. Alle vier Substanzen wurden bei den ersten Probenahmen in der ersten Saugkerzenebene nachgewiesen. Nur in Lysimeter „Boden“ wurde Phenanthren in deutlich erhöhten Konzentrationen in der ersten Saugkerzenebene detektiert. In den übrigen Proben wurde Phenanthren entsprechend der Hintergrundkonzentration bestimmt.

Als Vertreter für Ionen in den Bodenlösungen und in den Perkolaten wurden SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, und Cl<sup>-</sup> bestimmt. Aufgrund der Referenzmaterialien wurden in den Lysimetern „Asche“ und „Bauschutt“ erhöhte Gehalte gemessen. Mit Ausnahme von K<sup>+</sup> entsprachen die Konzentrationsverläufe Durchbruchskurven, wobei dies für alle Beprobungstiefen beobachtet wurde. Je nach Beprobungsebene und Ion waren die Konzentrationen in den Bodenlösungen der ersten Beprobungsebene bis zu einem Faktor 100-200 höher als die Konzentrationen des Kontrolllysimeters. Aber auch für die Perkolate wurden noch um den Faktor 50 höhere Konzentrationen gemessen.

Von den Schwermetalle wurden Kupfer, Cadmium, Blei, Nickel, Chrom und Zink analysiert. Cadmium und Blei wurden in allen Bodenlösungen im Ultraspurenbereich kleiner 0,5 µg L<sup>-1</sup> detektiert, lediglich im Lysimeter „Asche“ wurden Cadmium-Konzentrationen in den Bodenlösungen aus der ersten Beprobungsebene bis 2,0 µg L<sup>-1</sup> beobachtet. Für die übrigen untersuchten Schwermetalle lagen die gefundenen Konzentrationen in den Bodenlösungen bis zu 200 µg L<sup>-1</sup> (Chrom, Zink und Nickel) in der obersten Beprobungsebene, bis 140 µg L<sup>-1</sup> (Zink) in der mittleren Beprobungsebene und bis 60 µg L<sup>-1</sup> (Zink) in der untersten Beprobungsebene. Die Schwermetallkonzentrationen in den Perkolaten lagen um ein Vielfaches über den

Bodenlösungskonzentrationen. Wahrscheinlich wurden hier produktionstechnische Rückstände aus den Edelstahlsintermetallplatten ausgespült, denn in allen Lysimetern wurden vergleichbare Konzentrationen gemessen. Folglich ist ein Austrag mit den Perkolaten aus den Referenzsubstanzen nicht zu beantworten ist, da es sich hier um einen systemimmanenten Fehler handelt.

## **Schlussfolgerung**

Die Verlagerungssituation in den Großlysimetern entsprach einem „worst case“-Scenario, da aufgrund der intensiven zusätzlichen Beregnung und der bewuchsfreien Lysimeteroberfläche ein rascher abwärtsgerichteter Transport beobachtet wurde. Dies wurde durch die Wassertracer Bromid sowie D<sub>2</sub>O und den Indikatorstoff DFB verifiziert. Ein vergleichbarer Bromid-Durchbruch nach Applikation auf die Oberfläche eines 1,10 m langen Lysimeters dauert bei einem Jahresniederschlag von etwa 700 mm ohne Zusatzberegnung und ohne Pflanzenbewuchs mindestens 2 Jahre (DRESSEL, 2004).

Für die in der Gruppe der Ionen untersuchten Beispiele wurden die aus der Pflanzenernährung bekannten Mobilitäten beobachtet, wobei die Frachten von der Applikationsmenge abhängig waren (Marschner, 1995). Für die untersuchten Schwermetalle kann eine grobe Klassifizierung in die Gruppen „immobil“, „wenig mobil“ und „mobil“ vorgenommen werden. In die Gruppe „immobil“ wird Blei, in die Gruppe „wenig mobil“ werden Kupfer, Nickel sowie Zink und in die Gruppe „mobil“ werden Cadmium sowie Chrom eingestuft. Die untersuchten PAKs wiesen für den Beobachtungszeitraum keinerlei grundwassergefährdenden Verlagerungstendenzen auf. Diese vorsichtigen Bewertungen basieren auf einem relativ kurzen Beobachtungszeitraum und bedürfen der weiteren Validierung.

## **Literatur**

- Dressel, J. (2004): Transport von Ethidimuron, Methabenzthiazuron und Wassertracern in einer Parabraunerde. – Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Marschner, H. (1995): Mineral Nutrition of Higher Plants. - Academic Press, London, p. 889.

## **Danksagung**

Wir bedanken uns beim BMBF für die finanzielle Unterstützung dieses Forschungsprojektes.

**Block IV Perspektiven zur Erfassung und Modellierung von Parametern des Wasser- und Stoffkreislaufs/  
Outlook on Measuring and Modelling Parameters of the Hydrologic Cycle**

**Session 6 Zusammenfassung und Schlussdiskussion/  
Conclusion and Discussion**

**Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz):**

Anforderungen an die boden- und grundwasserhydrologische Forschung um künftigen Herausforderungen im Konnex Landwirtschaft und Grundwasserschutz gerecht werden zu können

# **Anforderungen an die boden- und grundwasserhydrologische Forschung um künftigen Herausforderungen im Konnex Landwirtschaft und Grundwasserschutz gerecht werden zu können**

J. Fank

JOANNEUM RESEARCH  
Institute of Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## **Abstract**

An international conference on „Diffuse Inputs into the Groundwater: Monitoring – Modelling – Management, Agriculture and Water Management in the Light of Future Challenges” was held from January 29th to 31st in Graz (Styria, Austria). The main goal of the conference was to present various nutrient transport models for the vadose zone for determining reasonable agricultural cropping systems for the future.

Water is an essential input for the agricultural production. But agricultural impact to ground water is strongly correlated to intensifying of land use and food production. Human driven climate change effects may reduce the availability of groundwater for drinking water supply. Groundwater protection measures have to take into account these changing boundary conditions. There are a lot of research needs to ensure cooperation between agriculture and water resources management for the future.

## **Einleitung**

Der langfristige Schutz des Grundwassers - und damit unseres Trinkwassers - kann nur im Zusammenspiel von Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Ökologie und Ökonomie stattfinden. Numerische Modelle für die Untersuchung von Wasserbewegung und Stofftransport, die anhand von regionalspezifischen Daten kalibriert werden, bilden die Grundlage für die Entscheidungsfindung bei der Planung.

Die Konferenz „*Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring - Modellierung – Management Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen*“ vom 29.-31.01.2006 versuchte Messtechnik und Datenerfassung, Datenmanagement und verschiedene Modellansätze ebenso betrachten wie künftige mögliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen. Ziel war es, Werkzeuge zu diskutieren, um künftigen Herausforderungen im Konnex Landwirtschaft und Grundwasserschutz gerecht werden zu können.

Der Themenbereich „*Diffuser Stoffeintrag in das Grundwasser und dessen quantitative Prognose*“ stellte Modelle des Wasserhaushalts und des Stofftransport in der ungesättigten Zone und der Kopplung mit Modellen der gesättigten Zone in den Mittelpunkt. Derartige Modelle werden verwendet, um „*ökonomisch sinnvolle, nachhaltige und grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen*“ definieren zu helfen und der Landwirtschaft und dem Grundwasserschutz eine Perspektive für die Zukunft zu geben. Grundlage jeder Prognose ist eine genaue *Kenntnis des*

*Wasser- und Stoffkreislaufs*, deren Erarbeitung auf punktueller Basis durch die Entwicklungen der Lysimetertechnologie deutlich verbessert werden konnte. In der Frage der Modellierung des Bodenwasserhaushalts und des Stofftransportes wurden Konzepte vorgestellt und deren Anwendbarkeit auf der Lysimeterskala diskutiert.

In diesem Beitrag soll versucht werden, auf Basis der vorgestellten Arbeiten Forschungserfordernisse im Bereich Boden- und Grundwasserhydrologie v.a. für seichtliegende, geringmächtige Grundwasserleiter zu definieren.

## **Landwirtschaft und Grundwasserschutz**

Neben der Nahrungsmittelversorgung wird die Produktion von Energiepflanzen eine immer größere Bedeutung für viele landwirtschaftliche Betriebe erlangen. Die Erzeugung von Biogas aus der Vergärung von Wirtschaftsdüngern, Energiepflanzen und organischen Co-Substraten verzeichnet in den letzten Jahren einen starken Zuwachs in der österreichischen Landwirtschaft. Entwicklungschancen kommen darüber hinaus insbesondere dem Biolandbau zu (Bernsteiner und Maßwohl, 2007, Köstenbauer, 2007). Eine Änderung des Klimas, die durch die Tätigkeit des Menschen vorangetrieben wird ist heute unumstritten. Auch wenn die Auswirkungen auf kleinregionaler Skala erst in Ansätzen prognostiziert werden können (Gobiet, 2007), ist zu erwarten, dass die Grundwasserressourcen eher eingeschränkt werden und die Grundwasserverfügbarkeit für die Trinkwasserversorgung aufgrund der Konkurrenzierung mit anderen Nutzern nicht im erforderlichen Maß steigen wird.

Maßnahmen des Grundwasserschutzes müssen sich auf diese sich ändernden Verhältnisse einstellen. In Untersuchungen ist belegt, dass zur Erreichung eines guten chemischen und ökologischen Zustandes von Fließgewässern und Meeren mit ihren Grundwassereinzugsgebieten beste verfügbare Techniken allein nicht ausreichen (Isermann & Isermann, 2007). Andererseits zeigen Untersuchungen und Szenarioberechnungen, dass unter Einhaltung von – in Richtlinien der Landwirtschaft – definierten und standortbezogenen Stickstoffdüngerobergrenzen auch auf seichtgründigen Standorten Ackerbau unter ökonomischen Gesichtspunkten möglich ist (Lanthaler et al., 2007). Für die Ermittlung des Gefährdungspotentials einer nicht sachgerechten Landwirtschaft für die Grundwassersituation werden heute schon numerische Modelle auf regionaler Skala eingesetzt, die die Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschläge und den Nitrataustrag aus der Bodenzone in Richtung Grundwasser berechnen (Feichtinger, 2007; Lanthaler, 2007).

Von besonderer Bedeutung bei der Definition und der Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen ist dabei neben einer nachvollziehbaren Abgrenzung der relevanten Bereiche und deren Größe für ein schützenswertes Einzugsgebiet (Fank et al., 2006) aber jedenfalls die Berücksichtigung aller relevanten Komponenten, die das Grundwassersystem beeinflussen. Neben der Bedeutung der Berücksichtigung unterschiedlicher Anreicherungsmechanismen des Grundwassers und der Grundwasserströmung selbst für die Interpretation von Stoffverteilungen im Grundwasser (Fank & Rock, 2007) ist die Berücksichtigung des zeitlichen Faktors des wirksam Werdens von Maßnahmen an der Oberfläche unter verschiedenen hydrogeologischen Rahmenbedingungen von besonderer Bedeutung.

## **Forschungserfordernisse**

Wie in vielen Bereichen der Naturwissenschaften werden auch zur Erklärung der Wasserbewegungs- und Stofftransportprozesse in der ungesättigten und gesättigten Zone Modelle eingesetzt, die versuchen, die physikalischen Zusammenhänge der untersuchten Kompartimente eines realen Umweltsystems mit mathematischen Gleichungen zu beschreiben. Diese Modelle müssen anhand von Messdaten validiert und die Parameter der Gleichungssysteme regionalspezifisch kalibriert werden. Aus heutiger Sicht erscheint es dringend erforderlich,

besondere Schwerpunkte der weiteren Entwicklung auf folgende Punkte zu lenken, um auch künftig anstehende Probleme der Gefährdung der Ressource Wasser im Zusammenspiel zwischen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Ökologie und Ökonomie lösen zu können:

- Einrichtung und langfristiger Betrieb von Messstationen, an denen der Wasser- und Stoffkreislauf unter definierten Bedingungen exakt gemessen werden kann. Die Lysimetertechnologie und Konzepte zu deren Standardisierung (von Unold, 2007) wurden in den letzten Jahren entscheidend weiterentwickelt. Es wäre dringend erforderlich, vergleichbare Daten aus möglichst vielen Klimaregionen unter unterschiedlichen hydrogeologischen und pflanzenbaulichen Rahmenbedingungen zu erfassen.
- Durch die Entwicklung und Validierung von numerischen Modellen, die an den exakten Messdaten von Lysimeteranlagen kalibriert werden können auch Auswirkungen von Effekten des Klimawandels auf den Wasser- und Stoffkreislauf prognostiziert werden. Gerade dieser Problemkreis erfordert sehr fein justierbare Modelle, da der Klimawandel einerseits eine laufende Entwicklung darstellt und andererseits in den verändernden Größen in messbaren Zeiträumen nur geringfügige Veränderungen zeigt, die als Abweichung von langfristigen Variabilitäten oft nur sehr schwer identifizierbar sind. Umso mehr gilt dies für die Auswirkung auf den Wasser- und Stoffkreislauf.
- Verfeinerung der Modelle zur flächenhaften Berechnung von Grundwasserneubildung und Stoffaustrag aus diffusen Quellen in Richtung Grundwasser. An Hand von punktuellen präzisen Messeinrichtungen müssen diese Modelle in der Lage sein, Messwerte exakt zu reproduzieren, da in der Übertragung auf die Fläche mit der deutlich verminderten Datenverfügbarkeit jedenfalls hohe Unsicherheiten bestehen bleiben werden. Auch diese Unsicherheiten sind zu quantifizieren.
- Koppelung der Modelle der ungesättigten Zone mit Grundwasserströmungsmodellen, da eine Prognose der Verteilung von Stoffen aus diffusen Einträgen nur durch die Berücksichtigung aller Komponenten der Grundwasseranreicherung mit Wasser und mit Stoffen möglich ist. Gerade in der Art dieser Kopplung und deren Realisierung ist noch enormer Forschungsbedarf gegeben um im wissenschaftlichen Bereich entwickelte Lösungen an reale Skalen anpassen und in die Anwendung überführen zu können.

## **Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Die sich ändernden produktionstechnischen und ökonomischen Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft sind in sehr vielen Fällen mit deutlichen Tendenzen zur Intensivierung auf einer geringeren Anzahl von Betrieben mit deutlich größeren Flächen gekoppelt. Zusätzlich ist der vom Menschen beeinflusste Wandel des Klimas auf der Erde heute Tatsache (Gobiet, 2007). Maßnahmen des Grundwasserschutzes müssen sich auf diese sich ändernden Verhältnisse einstellen, wobei erforderliche Maßnahmen dort und in einer Art zu setzen sind, dass sie einerseits nachvollziehbar und andererseits auch längerfristig Erfolg versprechend sind. Dabei ist die Berücksichtigung des zeitlichen Faktors des wirksam Werdens von Maßnahmen an der Oberfläche im Grundwasser unter verschiedenen hydrogeologischen Rahmenbedingungen von besonderer Bedeutung.

Zur Ableitung von Maßnahmen zur Verminderung des Stoffeintrags aus der ackerbaulichen Bewirtschaftung in das Grundwasser werden bereits seit längerer Zeit numerische Modelle eingesetzt, die es erlauben, die Auswirkung unterschiedlicher Bewirtschaftungsszenarien zu prognostizieren. Diese Modelle werden üblicherweise an Messeinrichtungen in der ungesättigten Zone regionalspezifisch kalibriert.

Die Entwicklung der Lysimetertechnologie in den letzten Jahren erlaubt es heute, Wasserkreislaufparameter und Stofftransport-Kenngrößen an definierten Standorten sehr genau zu messen und damit die Grundlage für die Validierung von numerischen Modellen zu schaffen. Dabei zeigt sich, dass die Ergebnisse der derzeit verwendeten Modelle noch mit relativ großen Unsicherheiten behaftet sind (Durner et al., 2007).

Aus heutiger Sicht erscheint es dringend erforderlich, besondere Schwerpunkte der weiteren Entwicklung auf folgende Punkte zu lenken, um auch künftig anstehende Probleme der Gefährdung der Ressource Wasser im Zusammenspiel zwischen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Ökologie und Ökonomie lösen zu können:

- Einrichtung und langfristiger Betrieb von Messstationen, an denen der Wasser- und Stoffkreislauf unter definierten Bedingungen exakt gemessen werden kann.
- Durch die Entwicklung und Validierung von numerischen Modellen, die an den exakten Messdaten von Lysimeteranlagen kalibriert werden können auch Auswirkungen von Effekten des Klimawandels auf den Wasser- und Stoffkreislauf prognostiziert werden.
- Verfeinerung der Modelle zur flächenhaften Berechnung von Grundwasserneubildung und Stoffaustrag aus diffusen Quellen in Richtung Grundwasser.
- Koppelung der Modelle der ungesättigten Zone mit Grundwasserströmungsmodellen, da eine Prognose der Verteilung von Stoffen aus diffusen Einträgen nur durch die Berücksichtigung aller Komponenten der Grundwasseranreicherung mit Wasser und mit Stoffen möglich ist.

## Literatur

- BERNSTEINER, A. & J. MABWOHL (2007): Landwirtschaftliche Entwicklungschancen in Tallandschaften mit intensiver Grundwassernutzung (Murtal von Graz bis Bad Radkersburg). Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.
- KÖSTENBAUER, H. (2007): Der organisch-biologische Ackerbau und dessen versuchstechnische Umsetzung im Vergleich zur konventionellen ackerbaulichen Bewirtschaftung am Versuchsfeld Wagna. Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.
- DURNER, W., U. JANSEN, S. C. IDEN (2007): Determination of Effective Parameters for Modelling Water Transport on the Lysimeter Scale. Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.
- FANK, J., G. FASTL, H. KUPFERSBERGER, G. ROCK (2006): Die Bewirtschaftung des Versuchsfeldes Wagna – Auswirkungen auf die Grundwassersituation. Bericht über das Seminar „Umweltprogramme für die Landwirtschaft und deren Auswirkung auf die Grundwasserqualität“, 7. – 8. März 2006, 43-48, Irdning-Gumpenstein
- FANK, J. & G. ROCK (2007): Modelling of Water Flow and Water Transport as the Basis for Predicting the Distribution of Diffuse Solute Input into the Groundwater. Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.
- FEICHTINGER, F. (2007): Regional application of STOTRASIM for modeling of water and nitrogen dynamics in the unsaturated zone. Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.
- GOBIET, A. (2007): Scenarios of Climate Change for Southern and Eastern Styria and Potential Impacts on Agriculture and Water Availability. Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.
- ISERMANN, K. & R. ISERMANN (2007): Sustainable Nutrient Management and its impact on the Protection of Groundwater and Surface Water in the Danube River Basin and Black Sea. Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.
- LANTHALER, CH. (2007): Modelling of Sustainable and Groundwater Protective Cropping System Using Long-term Scenario Simulations. Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.
- LANTHALER, CH., J. FANK, H. KUPFERSBERGER (2007): Erarbeitung grundwasserverträglicher ackerbaulicher Bewirtschaftungsformen auf Basis von Langzeit-Modellierungen. Bericht zur 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 19.-20. April 2007, Irdning (in Druck).
- VON UNOLD, G. (2007): Modulare Konzepte der Lysimetertechnologie für differenzierte Anwendungsbereiche und deren Einordnung in die Skalenproblematik. Proceedings der Konferenz „Diffuse inputs into the groundwater: Monitoring - Modelling – Management“ vom 29.-31.Jänner 2007, a.a.O., Graz.



Posterprogramm bei der  
internationalen Konferenz

Diffuse Einträge in das Grundwasser:  
Monitoring - Modellierung - Management

in Graz, 29. bis 31. Jänner 2007

Programme of posters at the  
international conference

Diffuse Inputs into the Groundwater:  
Monitoring - Modelling - Management

in Graz, January 29 to 31, 2007



Nr.	Titel des Posters/ <i>Title of the poster</i>	Autor(en) und Institution/ <i>Author(s) and institution</i>
<b>Serie 1/Series 1: Monitoring (Diffuser Stoffeintrag in das Grundwasser/Diffuse Inputs into the Groundwater)</b>		
<b>D1</b>	Determination and Ranking of Target Areas to Plan and Implement Nitrogen Reduction Measures in Catchment Areas	<b>Kunkel, R. (FZ Jülich)</b> , M. Eisele, W. Schäfer, F. Wendland
<b>D2</b>	Identification of Groundwater Quality Trends in a Chalky Aquifer Threatened by Intensive Agriculture	<b>J. Batlle Aguilar (University of Liège)</b> , P. Orban, A. Dassargues, S. Brouyere
<b>D3</b>	Validierung von Pedotransferfunktionen für die Ermittlung von Kennwerten des Wasserhaushaltes	<b>Murer, E. (IKT Petzenkirchen/BAW)</b>
<b>D4</b>	From Concentrations to Loads – Diffuse Nitrogen Inputs into Groundwater in the Context of the Protection of Coastal Zones	<b>Zessner, M. (Vienna University of Technology)</b>
<b>D5</b>	Preferential Flow Paths as Visualized by Brilliant Blue FCF Tracers in a Clayey Vadose Zone	<b>Vryzas, Z. (Aristotle University of Thessaloniki)</b> , E. Papadopoulou-Mourkidou
<b>D6</b>	Wastewater Reuse for Irrigation: Salinity Risk Evaluation-Prediction	<b>Kathijotes, N. (Higher Technical Institute, Nicosia)</b>
<b>D7</b>	Monitoring the Uptake of Water and Nutrients of Old Common Oak ( <i>Quercus robur</i> L.) Stand by Analysis of Sapwood and Stem Diameter Changes	<b>Pilaš, I. (Forest Research Institute Jastrebarsko)</b> , N. Potočić, I. Seletković, B. Vrbek
<b>D8</b>	The Maribor-Tezno Lysimeter Station	<b>Kopac, I. (IEI - Institute for Ecological Engineering Maribor)</b> , J. Fank, Ch. Lanthaler, S. Lapajne
<b>D9</b>	Research of Diffuse Pollution in Aquifer of Dravsko Polje	<b>Kopac, I. (IEI - Institute for Ecological Engineering Maribor)</b> , S. Lapajne
<b>D10</b>	The Nitrate Monitoring in the System Soil-Groundwater - the Effective Drinking Water Source Management!	<b>Bračič Železnik, B. (Water supply Ljubljana)</b> , V. Zupanc M. Pintar,
<b>D11</b>	Experimental Field Designed for Nitrate Migration Processes Studies in the Plant-Soil Water-Groundwater System	<b>Bračič Železnik, B. (Water supply Ljubljana)</b> , V. Zupanc, N. Kacjan, M. Pintar,
<b>D12</b>	Feldgemüseanbau und Grundwasserqualität im Westlichen Grazer Feld – Konzipierung und Instrumentierung der Untersuchungsflächen	<b>Ortner, G. (Joanneum Research/WRM, Graz)</b>
<b>D13</b>	Feldgemüseanbau und Sickerwasserqualität im Westlichen Grazer Feld – Integrierte Produktion versus Biologische Landwirtschaft	<b>Ortner, G. (Joanneum Research/WRM, Graz)</b>



<b>Nr.</b>	<b>Titel des Posters/Title of the poster</b>	<b>Autor(en) und Institution/Author(s) and institution</b>
<b>D14</b>	Experiments with Radioactive-Contaminated Soils on the Lysimetric Field	<b>Závodská, L. (EKOSUR Jaslovské Bohunice)</b> , I. Matušek, T. Kovács, J. Plško, P. Gerhart, J. Sirota
<b>D15</b>	Revitalisation of the Lysimetric Station in Žihárec (Slovakia)	<b>Matušek, I. (EKOSUR Jaslovské Bohunice)</b> , T. Kovács, L. Závodská, J. Plško
<b>D16</b>	Behaviour of Acidic Pesticides in Soils	<b>Kah, M. (EBGM, York)</b> , C. D. Brown
<b>D17</b>	A Multi-Isotope Approach (Pb, S, N, O and Sr) to Estimate the Impact of Long Distance Air Pollution on Sensitive Alpine Karst Groundwater	<b>Kralik, M. (Umweltbundesamt Vienna)</b> , F. Humer, J. Nurmi-Legat, A. Hanus-Illnar, J. Grath, M. Mirtl, M.-T. Grabner, S. Halas, M. Jelenc
	<b>Serie 2/Series 2: Modellierung/Modelling (Ungesättigte und gesättigte Zone, Bodenwasserhaushalt und Stofftransport/Unsaturated and saturated zone, soil water budget and nutrient transport)</b>	
<b>M1</b>	Simulation Experiment for Fluid Transport Mechanism in Hyporheic Zone	<b>Chou, P. (Leuven University)</b> , G. Wyseure
<b>M2</b>	Using Synthetic Precipitation Time Series for Flow Modelling in the Unsaturated Zone with SiWaPro DSS	<b>Nitsch, B. (TU Dresden)</b> , O. Kemmesies, P.-W. Gräber
<b>M3</b>	The Influence of Acidification on the Content of Nutrients Active Form in Soil, in a Simple Model Experiment	<b>Skowron, P. (Agriculture University Lublin)</b>
<b>M4</b>	Uncertainty at the Practical Application of Numeric Models for Large Scale Diffuse Transport	<b>Reimann, Th. (TU Dresden)</b> , Ch. Konrad, W. Walther
<b>M5</b>	STICS – Parameterizing and Behaviour of a SVAT-Model	<b>Heuer, A. (University of Trier)</b> , M. Casper
<b>M6</b>	Water Level Fluctuation Induced Groundwater Pollution in a Poldered Peatland (Spreewald, Eastern Germany)	<b>Gabriel, O. (Vienna University of Technology)</b> , T. Kalettka, D. Balla
<b>M7</b>	The Goal Oriented Water-Legal Balance Compensation Payments of the Water Company Leipzig GmbH (KWL) on Basis of Model-Supported Nitrogen Balance	<b>Wagner, B. (Institut für nachhaltige Landwirtschaft Halle/Saale e.V.)</b> , M. Steininger, A. Jäger, O. Christen
<b>M8</b>	Ein Vergleich von gemessenen und simulierten Sickerwassermengen auf verschiedenen Landnutzungen in der Trier-Bitburger-Mulde	<b>Sauer, T. (Universität Trier)</b> , E. Tressel, M. Casper
<b>M9</b>	Grundwassergüte-Monitoring, Trendauswertungen und Modellierung von Grundwassergüte-Parametern	<b>Schramm, C. (Umweltbundesamt Wien)</b> , J. Grath, A. Scheidleder
<b>M10</b>	Quantitative and Predictive Modelling of Organic Pollutant Leaching and Transport Behaviour at the Lysimeter Scale	<b>Amankwah, E. A. (TU Dresden)</b> , R. Liedl, P. Grathwohl
<b>M11</b>	Simulation of Nitrogen Leaching in the Grazer Feld	<b>Cepuder, P. (University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna)</b> , R. Nolz, V. Aus der Schmitt
<b>M12</b>	Modelling of Nitrogen Dynamics in an Alpine Forest Ecosystem on	<b>Herman, F. (Federal Research and Training Centre for Forests</b>

<b>Nr.</b>	<b>Titel des Posters/Title of the poster</b>	<b>Autor(en) und Institution/Author(s) and institution</b>
	Calcareous Soils: A Scenario-Based Risk Assessment Under Changing Environmental Conditions	<b>Vienna</b> ), S. Smidt, K. Butterbach-Bahl, M. Englisch, E. Gebetsroither, R. Jandl, K. Katzensteiner, M. Lexer, F. Strebl, S. Zechmeister-Boltenstern
	<b>Serie 3/Series 3: Management (Ackerbauliche Bewirtschaftungsformen/Agricultural Management Systems)</b>	
<b>A1</b>	Langzeituntersuchungen zum Einfluss von Boden, Landnutzung und Bewirtschaftung auf die Sickerwasserbildung und den Stoffaustrag in der Trockenregion Nordostdeutschlands	<b>Schindler, U. (ZALF Müncheberg)</b> , L. Müller
<b>A2</b>	Langfristige Lysimeteruntersuchungen in Oberösterreich	<b>Seltenhammer, K. (Amt der Oö. Landesregierung)</b>
<b>A3</b>	N <sub>min</sub> , P, K, Ca, Mg and S Amount in Lysimeters Water of Grassland Unmanaged on Crop	<b>Fiala, J. (Research Institute of Crop Production Praha-Ruzyne Grassland Research Station Liberec)</b>
<b>A4</b>	Influence of Agricultural Production on Nitrogen and Phosphorus Leaching in Eastern Croatia	<b>Petošić, D. (University of Zagreb, Faculty of Agriculture)</b>
<b>A5</b>	Leaching Losses under Conventional and Organic Management in Humid Regions	<b>Hein, W. (Agricultural Research and Education Centre Raumberg-Gumpenstein)</b> , H. Waschl
<b>A6</b>	Nutzung des Ökologischen Landbaus für den Trinkwasserschutz - das Fallbeispiel Niedersachsen	<b>Szerencsits, M. (Universität Kassel)</b>
<b>A7</b>	The Monitoring of Shallow Groundwater for Maize Herbicides and Their Metabolites in Northern Italy	<b>Ferrari, F. (Università Cattolica del Sacro Cuore Via Emilia Parmense, Piacenza)</b> , M. Balderacchi, G. Fait, M. Trevisan, E. Capri
<b>A8</b>	Integriertes Stickstoffmanagement im Gemüsebau - eine Möglichkeit zur wirksamen Verringerung der Gewässerbelastung entsprechend der Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie	<b>Armbruster, M. (LUFA Speyer)</b> , N. Laun, F. Wiesler
	<b>Serie 4/Series 4: Die Forschungsstation Wagna/The Wagna Research Station</b>	
<b>W1</b>	Die Daten der Forschungsstation Wagna (1992 - 2003) als Grundlage für die Modellkalibration	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz)</b>
<b>W2</b>	"Scientific-Field-Lysimeter" – ein Lysimeter zur differenzierten Erfassung der Horizontwassersituationen und der Schnittstellen zu Atmosphäre und Aquifer	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz)</b>
<b>W3</b>	Datenfluss und -management an der Forschungsstation Wagna	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz)</b> , G. Rock
<b>W4</b>	Wägbares und maschinell bewirtschaftbares Lysimeter für landwirtschaftliche Freilanduntersuchungen an der Forschungsstation Wagna	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz)</b> , G. v. Unold

<b>Nr.</b>	<b>Titel des Posters/Title of the poster</b>	<b>Autor(en) und Institution/Author(s) and institution</b>
	(Steiermark, Österreich)	
<b>W5</b>	Modulare Lysimeter für definierte Anwendungsschwerpunkte	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz), G. v. Unold</b>
<b>W6</b>	“HYDROLYS“ – eine Lysimeterkonfiguration zur Erfassung von Wasserbilanzparametern	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz), G. v. Unold</b>
<b>W7</b>	“AGROLYS“ – eine Lysimeterkonfiguration zum Langzeitmonitoring landwirtschaftlich bewirtschafteter Flächen	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz), G. v. Unold</b>
<b>W8</b>	“METEOLYS“ – eine HYDROLYS-Erweiterung zur Ermittlung von Pflanzen-Verdunstungskoeffizienten	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz), G. v. Unold</b>
<b>W9</b>	Die Erfassung des Stationsniederschlags mit unterschiedlichen Mess- und Auswertansätzen	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz)</b>
<b>W10</b>	Gemessene Erträge und Stoffentzüge an den Lysimetern in Wagna	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz)</b>
<b>W11</b>	Gemessene Wasser- und Stoffbilanzen an den Lysimetern in Wagna	<b>Fank, J. (Joanneum Research/WRM, Graz)</b>
	<b>Serie 5/Series 5: Arbeitsgruppe Lysimeter, Wasserschutzberatung, Waterpool, Wasserversorgung/ Lysimeter Research Group, Water Protection Advisory Service, Waterpool, Water Supply</b>	
<b>G1</b>	The Lysimeter Research Group (Die Arbeitsgruppe Lysimeter)	<b>Eder, G. (HBLFA Raumberg-Gumpenstein), P. Cepuder, J. Fank, Ch. Lanthaler</b>
<b>G2</b>	The Web Site of the Lysimeter Research Group: <a href="http://www.lysimeter.at">http://www.lysimeter.at</a>	<b>Lanthaler, Ch. (K.-F. University Graz)</b>
<b>G3</b>	The European Lysimeter Platform	<b>Lanthaler, Ch. (K.-F. University Graz)</b>
<b>G4</b>	Überblick der Lysimeterstationen in Europa mit besonderer Berücksichtigung der Messstandorte für Deponien und Bergbaufolgelandschaften in Deutschland	<b>Lanthaler, Ch. (K.-F. University Graz), J. Fank</b>
<b>G5</b>	Overview on Lysimeter and Soil Hydrology Measuring Sites in Austria (Überblick der Lysimeter und bodenhydrologischen Messstationen in Österreich)	<b>Lanthaler, Ch. (K.-F. University Graz)</b>
<b>G6</b>	Agricultural Groundwater Protection in Upper Austria – Oö. Wasserschutzberatung	<b>Höfferer, M. (Oö. Wasserschutzberatung)</b>
<b>G7</b>	The Competence Network Waterpool/ Kompetenznetzwerk Wasserressourcen und deren Bewirtschaftung –“Waterpool“	<b>Probst, G. (Joanneum Research/WRM, Graz), S. Schafranek</b>
<b>G8</b>	Zielsetzung, Struktur und Verteilungsnetz des Wasserverbandes Grenzland Südost	<b>Glanz, F. (Wasserversorgung Grenzland Südost)</b>

Die Posterwände wurden durch KultRent, einem Service der Kulturvermittlung Steiermark zur Verfügung gestellt.

Poster walls were provided by KultRent, a service of the Kulturvermittlung Steiermark (Styria).



# Determination and Ranking of Target Areas to Plan and Implement Nitrogen Reduction Measures in Catchment Areas

R. Kunkel\*/M. Eisele\*\*/W. Schäfer\*\* & F. Wendland\*

\*Research Centre Jülich, D-52425 Jülich

\*\* Geological Survey of Lower Saxony; Stilleweg 2, D-30655 Hannover

The implementation schedule for the EU water framework directive requires the creation of monitoring programmes for water bodies according to the intensity of the pollution risk by the end of 2006. Until 2009 river basin district management programmes have to be established followed by the implementation of measures from the management plans (until 2012). Within the EU LIFE Environment project WAgriCo (Water resources management in co-operation with agriculture) methods of geographical prioritisation and determination of environmental targets have been developed and derived in three pilot water bodies in the Federal State of Lower Saxony, Germany.

For a geographical prioritisation / ranking of low, medium and high priority units (“hot spot” areas) in catchment areas a decision tree has been developed. The geographical prioritisation comprises information directly obtained from observed data as well as model results. As a measure for the current anthropogenic pressure to groundwater nitrogen concentrations in groundwater are considered. Additionally, modelled nitrogen emission data and modelled hydrologic/hydrogeologic parameters are used. By doing so, the nutrient surpluses by agriculture are coupled to the relevant runoff components (groundwater recharge, direct runoff) (Kunkel et al. 2006) and a residence time/nitrate degradation model (Wendland et al. 2004). As a result of this step, the actual nitrogen emissions into groundwater and surface waters as well as the relevant hydrologic/hydrogeologic key factors controlling the inputs are quantified area-differentiated.

## References

- KUNKEL, R., BOGENA, H., TETZLAFF, B. & WENDLAND, F. (2006): Digitale Grundwasserneubildungskarte von Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hamburg und Bremen: Erstellung und Auswertungsbeispiele. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 50(5), 212–219.
- WENDLAND, F., KUNKEL, R. AND VOIGT, H. J. (2004): Assessment of groundwater residence times in the pore aquifers of the River Elbe basin. *Environmental Geology* 46(1), 1–9.

# Identification of Groundwater Quality Trends in a Chalky Aquifer Threatened by Intensive Agriculture

J. Batlle Aguilar<sup>1</sup>, P. Orban<sup>1</sup>, A. Dassargues<sup>1</sup>; S. Brouyère<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Geotechnology, Hydrogeology and Geophysical Prospection group (GEO<sup>3</sup>)  
University of Liège  
Chemin des Chevreuils, 1  
B-4000 Sart Tilman (Belgium)

<sup>2</sup> Also at Aquapôle ULg

\* Corresponding author [serge.brouyere@ulg.ac.be](mailto:serge.brouyere@ulg.ac.be)

**KEYWORDS:** *Groundwater; Nitrate contamination; Trend analysis; Linear regression; Mann-Kendall test; Hesbaye aquifer; Geer basin.*

As a response to the continuous increase of use on fertilizers and pesticides in last decades related to agricultural practices, the European Union (EU) has adopted in 1991 the Nitrate Directive 91/676/EEC (EU 2000). More recently the “Water Framework Directive 2000/60/EC” (WFD) has been published, stating that a good status of water is required for all EU members.

The methodology used in this research mostly follows the works of Grath *et al.* (2001) who proposed particular algorithms and techniques for the identification of pollutants trends in ground water. As suggested by Hirsch *et al.* (1991), a three-step procedure is considered: 1) normality test of the dataset (Conover 1980, Helsel and Hirsch 1995); 2) trend detection (Mann 1945; Kendall 1975); and 3) trend estimation (Hirsch *et al.*, 1991; EPA 2000).

The study was performed in the Hesbaye chalky aquifer, located in the Geer river basin, at the North-West of the Liège city (Belgium). The Hesbaye aquifer is an important ground water resource for drinking water supply for the city of Liège and its suburbs, which means around 30 million cubic meters per year (Brouyère *et al.*, 2004a). The land use in the basin is characterized by a dominant agricultural component, covering about 65% of the catchment area, the remaining space remaining being divided between pastures (15%), housing (13%) and forests (7%) (Broers *et al.*, 2005).

Nitrate datasets used in this study come mainly from the Nitrate Survey Network (NSN) established by the Walloon Region water authorities and from VMW (Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening), the Flemish water supply company.

From groundwater points used (24), a total of 17 sampling points are characterized by an upward trend (71 % of the points), the annual increase of nitrate concentration ranging between 0.3 and 0.8 mg·l<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup>. The remaining points (7 over 24), which do not show any evidence of upward or downward trend, generally corresponds to sampling points with limited nitrate records, irregularly distributed in time.

The transit time of nitrates across the thick unsaturated formations (from 10 to 70 m) have been deduced at approximately 1 m·year<sup>-1</sup> to reach the groundwater (Brouyère *et al.*, 2004b). This means that measures taken today will have an observable effect with a delay of 10 to 70 years. It gives thus more than time to react. Because changes in agricultural practices have started recently, it can be considered that the trends observed nowadays are likely to remain for years. Based on this assumption, a “simple” trend extrapolation is relevant in order to estimate the time remaining before ground water be unusable for public water supply. A rough estimation of the time remaining before the threshold concentration of 50 mg·l<sup>-1</sup> would be reached in various parts of the chalk aquifer, has been calculated based on a point-by-point extrapolation of nowadays nitrate contamination levels using nitrate trend estimates in this research.

## References

- Broers, H.P., A. Visser, I.G. Dubus, N. Baran, X. Morvan, M. Normand, A. Gutiérrez, C. Mouvet, J. Batlle Aguilar, S. Brouyère, P. Orban, S. Dautrebande, C. Sohier, M. Korez, J. Bronder, J. Dlugosz and M. Odrzywolek (2005). *Report with documentation of reconstructed land use around test sites*. Deliverable T2.2 AquaTerra (Integrated Project FP6 no. 505428). 64pp.
- Brouyère, S., G. Carabin and A. Dassargues (2004a). *Climate change impacts on ground water resources: modelled deficits in a chalky aquifer, Geer basin, Belgium*. Hydrogeology Journal, **12**: 123-134.
- Brouyère, S., A. Dassargues and V. Hallet (2004b). *Migration of contaminants through the unsaturated zone overlying the Hesbaye chalky aquifer in Belgium: a field investigation*. Journal of Contaminant Hydrology, **72**: 135-164.
- Conover, W.L. (1980). *Practical nonparametric statistics*. John Wiley and Sons. New York. 493 pp.
- EPA (2000). *Practical Methods for Data Analysis*. Washington, DC 20460. US Environmental Protection Agency (USEPA). Report EPA QA/G-9 QA00. 219 pp.
- EU (2000). *Directive 2000/60/CE of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. 172 pp.
- Grath, J., A. Scheidleder, S. Uhlig, K. Weber, M. Kralik, T. Keimel and D. Gruber (2001). *The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of ground water pollution trends, and aggregation of monitoring results*. Final report. Vienna. Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management (Ref.: 41.046/01-IV1/00 and of GZ 16 2500/2-I/6/00), European Commission (Grant Agreement Ref.: Subv 99/130794), in kind contributions by project partners. 63 pp.
- Helsel, D.R. and R.M. Hirsch (1995). *Statistical Methods in Water Resources*. Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey. Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation. USGS. Chapter A3: 510 pp.
- Hirsch, R.M., R.B. Alexander and R.A. Smith (1991). *Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality*. Water Resources Research, **27**(5): 803-813.
- Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation methods*. Griffin. London, UK.
- Mann, H.B. (1945). *Nonparametric tests against trend*. Econometrica, **13**: 245-259.

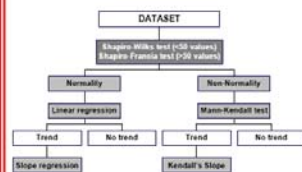
# IDENTIFICATION OF GROUNDWATER QUALITY TRENDS IN A CHALKY AQUIFER THREATENED BY INTENSIVE AGRICULTURE

## 1. Introduction

Environmental problems related to an increase of use of external inputs of nitrogen, such as fertilizers and pesticides, in Europe, has encouraged the European Union (EU) to adopt in 1991 the Nitrate Directive (91/676/EEC), and more recently the 'Water Framework Directive 2000/60/EC', stating that a good status of groundwater is required for all EU members and specific measures have to be adopted to prevent and control pollution of groundwater, establishing the maximum allowable concentration of nitrate in drinking waters at 50 mg NO<sub>2</sub>-N l<sup>-1</sup>. In order to achieve the environmental objectives for groundwater, the Water Framework Directive 2000/60/EC requires identifying and reversing any significant upward trends in the concentration of pollutants and a 'good' groundwater status by the end of 2015 at the latest.

## 2. Methodology for statistical trend analysis

The methodology used in this study is a traditionally three step procedure: 1) normality test of the dataset, 2) trend detection, and 3) trend estimation (Figure 1).



Shapiro-Wilk test (SW-test) for datasets with less than 50 records and Shapiro-Franca test (SF-test) for datasets with 50 or more records are used in order to select the appropriate trend detection method (parametric vs. non-parametric methods).

Linear regression as parametric test and Mann-Kendall test as non-parametric test have been used to determine whether a trend exist. Three ranges of correlation degree have been considered in the linear regression:

- strong correlation for +0.1 > r > +0.8
- moderate correlation for +0.0 > r > +0.5
- weak correlation for +0.0 > r > +0.1
- no correlation for r < +0.1

The Mann-Kendall test determines whether a trend is present or not with an indicator (T) based on the calculation of differences between pairs of successive data:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(C_j - C_i) \quad \text{sgn}(C_j - C_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } C_j - C_i > 0 \\ 0 & \text{if } C_j - C_i = 0 \\ -1 & \text{if } C_j - C_i < 0 \end{cases}$$

where C<sub>i</sub> and C<sub>j</sub> are concentration data at different time i and j, with |j - i| = 1, and n is the size of dataset.

The trend magnitude is expressed in units of increment of nitrate concentration per year (mgNO<sub>2</sub>-N l<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>). It is calculated the slope of the linear regression for normally distributed datasets, whereas for a non-normally distributed datasets, is calculated based on the Sen's slope estimator (H), which consists in computing the median of the slopes (b<sub>ij</sub>) of all pairs of successive data:

$$b_{ij} = \frac{C_j - C_i}{t_j - t_i} \quad H = \text{median}(b_{ij})$$

## 3. Geographical, geological and hydrogeological context

The Geer basin is located in the Eastern part of Belgium and extends over about 400 Km<sup>2</sup> (Figure 2). The Geer river is a tributary of the Meuse river downstream of the Liège city.

The Hesbaye aquifer, located in the Senonian chalk formations of the basin, is an important groundwater resource for drinking water supply for the city of Liège and its suburbs, which means around 30 million cubic meters per year. The land use is characterized by a dominant agricultural component, covering about 65% of the catchment area, the remaining space being divided between pastures (15%), housing (12%) and forests (7%). The chalk formation is dipping northwards and presents continuity out of the basin. Most of the aquifer is unconfined except in the Northern part of the basin, where semi-confined conditions prevail on the left bank of the Geer river.



Figure 2. Geer basin location.

## 4. Nitrate dataset

Nitrate datasets used in this study come mainly from the Nitrate Survey Network (NSN) established by the Walloon Region water authorities.

Datasets from VMW (Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening), the Flemish water supply company, were also accessible to get data from water supply wells in the North part of the basin and in the confined extension of the chalk aquifer outside of the Geer basin.

Nitrate network considered in the study is made of 57 sampling points, among which 24 (Figure 3) have been considered a priori as containing suitable records (i.e. a minimum of 10 nitrate records over time) for trend analysis. The remaining 33 points were rejected because: 1) too small number of records and/or, 2) non detected presence of nitrate (mostly in the north-western part of the basin corresponding to the confined zone).

## 5. Description of the point-by-point trend estimation

A total of 17 sampling points are characterized by an upward trend (71% of the points), the annual increase of nitrate concentration ranging between 0.2 and 0.8 mgNO<sub>2</sub>-N l<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (Figure 4). The remaining points (7 over 24), which do not show any evidence of upward or downward trend, generally corresponds to sampling points with limited nitrate records, irregularly distributed in time.

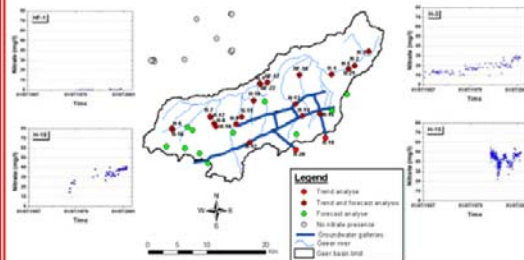


Figure 3. Sampling locations in the Geer basin and nitrate concentrations in function of time.

## 5. Trend extrapolation

Based on a point-by-point calculation of mean nitrate concentration over the period 1995-2003, assimilated to year 2001, the estimated trend value at the nearest available point was used to perform an estimation of the time remaining to reach the water-drinking limit was performed.

Results of the extrapolation reveal that in a 75% of the sampling sites the nitrate threshold limit will be reached in a near future (between 0 and 30 years) or, in the worst of cases, the threshold limit is already exceeded.



Figure 4. Spatial distribution of nitrate trends in the Geer basin, with nitrate upward trends values in mgNO<sub>2</sub>-N l<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>.

## 7. Conclusions and perspectives

It has been showed that in cases where parametric and non-parametric methods can be applied, results are similar for both methods, concluding that non-parametric methods (MK-test in this case) are perfectly applicable for datasets normally distributed, making this test suitable for the WFD application.

Taking into account the between time extrapolation and the transit time (approximately 1 m year<sup>-1</sup>) of nitrates across the thick unsaturated formations (from 10 to 70 m) to reach the groundwater, means that measures taken today will have an observable effect with a delay of 10 to 70 years. It gives thus more time to react.

At present, geostatistical analyses are in the way in the Geer basin to propose an optimized monitoring network well adapted to the needs of the basin.

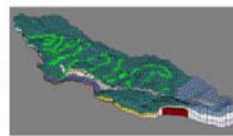


Figure 6. 3D mesh of the flow and transport model in the Geer basin.

Moreover, a regional ground water model is being developed in the scope of the FP6-IP AquaTerra project. This model will be used for nitrate trend analysis and forecasting in the Geer basin. For this purpose, nitrate trend results obtained in the present study will be aggregated and used as calibration and validation datasets for the ground water flow and transport model.

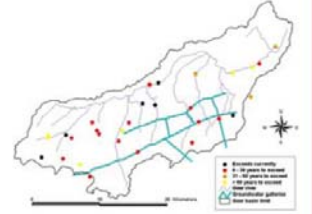


Figure 5. Forecast the future excess of nitrates with regards to the 10 mg NO<sub>2</sub>-N l<sup>-1</sup> threshold value.

## Acknowledgements

This work was supported by the European Union FP6 Integrated Project AquaTerra (Project no. 505428) under the thematic priority, sustainable development, global change and ecosystems; and by the Walloon Region DGRNE (Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement de la Région wallonne). The authors gratefully acknowledge Francis Deloge from the DGRNE and Jan van der Sloos from the VMW for their support in data availability.



# Validierung von Pedotransferfunktionen für die Ermittlung von Kennwerten des Wasserhaushaltes

E. Murer

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt  
3252 Petzenkirchen – Austria

## **Validation of the pedo-transfer function to estimate properties for water balance**

Aim of this project was to check and improve the pedo-transfer function (PTF) described in MURER (1998) for estimating soil retention for 3 regions in Styria. The PTF is based on AG BODEN (1994), EISENHUT (1996) and data given by Austrian soil mapping. Modification of the packing density in subsoils the results improves. The PTF may be used up to a scale of 1:10000.

Ziel des Projektes ist die Überprüfung von Pedotransferfunktionen (PTF) in 3 Projektgebieten Friesach, Grazer Feld und Unteres Murtal. Unter Einbindung von Kartierungen dienen PTF zur Abschätzung von Wasser- und Stoffflüssen in der ungesättigten Zone für einen flächenhaften Gewässerschutz. Für nicht parzellenscharfe Auflösung wird meist die Österreichische Bodenkartierung 1:25000 verwendet. Die einzelnen Bodenformen können horizontweise mittels der PTF (MURER, 1998) in bodenphysikalische Kennwerte umgesetzt werden. Die Grundlage bilden die AG BODEN (1994) und ein Datenschlüssel nach EISENHUT (1996). Voruntersuchungen von MURER & STRAUSS (2003) zeigten eine Überschätzung des Porenvolumens und der nutzbaren Feldkapazität im Unterboden. Bei der Umsetzung wurde deshalb für diesen mindestens mittlere Lagerungsdichte angesetzt. Die relevanten Bodentypen wurden an 15 Profilstellen beprobt und im Labor auf die gleichen Parameter wie in der Kartierung analysiert, ebenso die Porengrößenverteilung bestimmt. Im Umfeld der Profilstellen wurde das C/N-Verhältnis (0-30 cm) ermittelt. Der Vergleich der Messwerte aus dem Labor und der Kartierung ergab eine hohe signifikante Korrelation bei der Korngrößenverteilung, ebenso beim pH-Wert, Kalk- und Humusgehalt. Es wurden jedoch etwas höhere Humusgehalte und pH-Werte gegenüber der Kartierung gemessen. Das gemessene C/N-Verhältnis und jenes nach FEICHTINGER (1998), berechnet aus Humus-, Kalkgehalt und pH-Wert sind nur gering signifikant und bedürfen noch einer besseren Anpassung. Größere Abweichungen im Vergleich zu den Messergebnissen können durch nicht exaktes Wiederfinden der Profilstelle erklärt werden. Eine systematische Abweichung ist bei der Bestimmung der Korngrößenverteilung durch die Anwendung, mit und ohne Humuszerstörung gegeben. Infolge Humuszerstörung werden im Mittel um 4% niedrigere Schluffgehalte gemessen. Der Vergleich der abgeleiteten mit den gemessenen physikalischen Kennwerten ergab eine mittlere signifikante Korrelation, Kennwerte nur für den Unterboden sind dagegen hoch signifikant. Die Bodenform der Kartierung ist eine abgegrenzte Fläche, die innerhalb ihrer Grenzen den gleichen Bodentyp und einen weitgehend gleichen Standortcharakter aufweist. In der Beschreibung der Bodenform variiert die Bodenart im Horizont einer Bodenform innerhalb einer bis zwei Bodenarten. Einige Bodenarten besitzen große Spannweiten in den Fraktionen, z.B. Schluffgehalte zwischen 10% bis 55%. Damit ist für flächenhafte Betrachtungen des Bodenwasserhaushaltes bis zu einer Größe des Aufnahmemaßstabs von 1:10000 die verwendete PTF zur Ermittlung der physikalischen und chemischen Bodenkennwerte ausreichend genau.

## Literatur

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland, Hannover.
- EISENHUT M. (1990): Auswertung der Österreichischen Bodenkarte 1:25000 für die Ermittlung der Nitratstragsgefährdung von Böden. Bericht 5, Bundesanstalt für Bodenkultur, Wien.
- FEICHTINGER F.(1998): Simulationsrechnungen zur Auswirkung unterschiedlicher landwirtschaftlicher Maßnahmen auf den Nitratstrag. Schriftenreihe BAW, Band 7.
- MURER E. (1998): Die Ableitung der Parameter eines Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodells aus den Ergebnissen der Bodenkartierung. Schriftenreihe BAW, Band 7.
- MURER E.J. & P. STRAUSS (2003): Bodenschutzstrategien in Europa – Strategien in Österreich. Validierung bodenphysikalischer Kennwerte abgeleitet aus der Österreichischen Bodenkarte 1:25000. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., Heft 69.

## Validierung von Pedotransferfunktionen zur Ermittlung von Kennwerten des Wasserhaushaltes

Erwin Murer

Bundesamt für Wasserwirtschaft  
 Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt  
 3252 Petzenkirchen  
 erwin.murer@baw.at  
 www.baw.at

### Zusammenfassung

Ziel des Projektes ist die Überprüfung der Pedotransferfunktion (PTF) nach MURER (1998) auf der Basis der Österreichischen Bodenkartierung M 1:25000 für drei Projektgebiete. Der Vergleich der Messwerte aus dem Labor und der Kartierung ergab eine hohe signifikante Korrelation bei der Korngrößenverteilung, ebenso beim pH-Wert, Kalk- und Humusgehalt. Die Bodenform ist eine abgegrenzte Fläche, die innerhalb ihrer Grenzen den gleichen Bodentyp und einen weitgehend gleichen Standortcharakter aufweist. In der Beschreibung der Bodenform variiert die Bodenart im Horizont einer Bodenform innerhalb einer bis zwei Bodenarten. Einige Bodenarten besitzen große Spannweiten in den Kornfraktionen, z.B. Schluffgehalte zwischen 10% bis 55%. Damit ist für flächenhafte Betrachtungen des Bodenwasserhaushaltes bis zu einer Größe des Aufnahmemaßstabs von 1:10000 die verwendete Pedotransferfunktion zur Ermittlung der physikalischen und chemischen Bodenkenwerte ausreichend genau.



Projektgebiete

### Methode

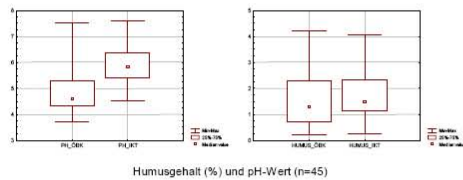
Die Inhalte der Kartierung wurden horizontweise mittels PTF (MURER, 1998) in bodenphysikalische Kennwerte umgesetzt. Die Grundlagen dieser PTF bildet die AG BODEN (1994) und ein Datenschlüssel nach EISENHUT (1996). Voruntersuchungen von MURER & STRAUSS (2003) zeigten eine Überschätzung des Porenvolumens und der nutzbaren Feldkapazität im Unterboden. Bei der Umsetzung wurde deshalb für diesen mindestens mittlere Lagerungsdichte angesetzt. Aus den relevanten Hauptboden Typen (15 Profilstellen) wurden Bodenproben entnommen und im Labor auf die gleichen physikalischen und chemischen Parameter wie in der Kartierung analysiert, ebenso die Korngrößenverteilung bestimmt. Im Umfeld der Profilstellen wurde das C/N-Verhältnis (0-30 cm Tiefe) ermittelt.



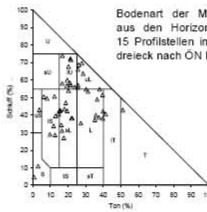
Probenahmestellen im Projektgebiet Grazer Feld

### Ergebnisse

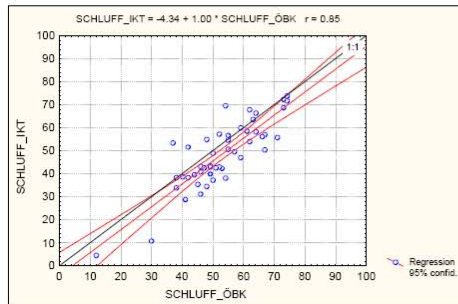
Der Vergleich der Messwerte aus dem Labor und der Kartierung ergab eine hohe signifikante Korrelation bei der Korngrößenverteilung, ebenso beim pH-Wert, Kalk- und Humusgehalt. Das erste Quartil des Humusgehaltes beträgt in der Kartierung 0,8%, die heutigen Messungen ergeben 1,1%. Auch wurden höhere pH-Werte, vor allem im sauren und stark sauren Bereich festgestellt. Das gemessene C/N-Verhältnis und jenes nach FEICHTINGER (1998), berechnet aus Humus-, Kalkgehalt und pH-Wert sind nur gering signifikant und bedürfen noch einer besseren Anpassung. Größere Abweichungen im Vergleich zu den Messergebnissen können durch nicht exaktes wieder finden der Profilstelle erklärt werden. Eine systematische Abweichung ist bei der Bestimmung der Korngrößenverteilung durch die Anwendung, mit und ohne Humuserstörung gegeben. Infolge Humuserstörung werden im Mittel um 4% niedrigere Schluffgehalte gemessen. Der Vergleich der mittels PTF abgeleiteten und den gemessenen physikalischen Kennwerte ergab eine mittlere signifikante Korrelation, Kennwerte nur für den Unterboden sind dagegen hoch signifikant.



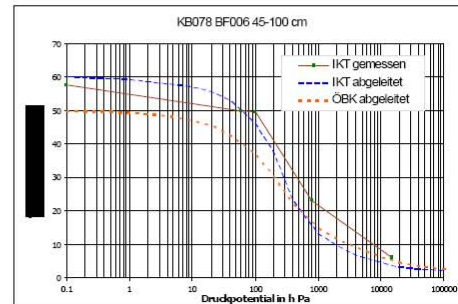
Humusgehalt (%) und pH-Wert (n=45)



Bodenart der Messwerte aus den Horizonten von 15 Profilstellen im Texturdreieck nach ÖN L1050.



Gegenüberstellung der Schluffgehalte aus der Bodenkartierung und dem IKT-Labor



Beispiel: Gegenüberstellung der abgeleiteten und der gemessenen pF-Kurven



**Literatur**  
 AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und geologische Landesämter der BRD, Hannover.  
 EISENHUT M. (1990): Auswertung der Österreichischen Bodenkarte 1:25000 für die Ermittlung der Nitrataustraggefährdung von Böden, Bericht 5, Bundesanstalt für Bodenkultur, Wien.  
 FEICHTINGER F. (1998): Simulationsrechnungen zur Auswirkung unterschiedlicher landwirtschaftlicher Maßnahmen auf den Nitratauslag, Schriftenreihe BAW, Band 7, 75-88.  
 MURER E. (1998): Die Ableitung der Parameter eines Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodells aus den Ergebnissen der Bodenkartierung, Schriftenreihe BAW, Band 7, 89-103.  
 MURER E. J. und P. STRAUSS (2003): Validierung bodenphysikalischer Kennwerte abgeleitet aus der Österreichischen Bodenkarte 1:25000, Mitt. d. Öster. Bodenkundl. Ges., Heft 69.



fachwissenschaftszentrum.at

# From Concentrations to Loads – Diffuse Nitrogen Inputs into Groundwater in the Context of the Protection of Coastal Zones

M. Zessner

Vienna University of Technology  
Institute for Water Quality  
Kalrsplatz 13/226  
A-1040 Vienna – Austria

About 45 % of the nitrogen emissions to surface waters in the Danube Basin stem from emissions via groundwater. For Austria this percentage amounts to about 60 %. Nitrogen emissions via the Danube River to the Black Sea are a decisive factor in the context of healthy development of the Western Black Sea coastal area (eutrophication). Results from the EU-project daNUbs (Nutrient Management in the Danube Basin and its impact on the Black Sea) clearly demonstrate that in addition to the intensity of agricultural production high groundwater recharge rates favour the emission of high nitrogen loads to surface water via groundwater. Areas with low groundwater recharge rates and consequently higher nitrate concentrations in groundwater tend to have more favourable conditions for denitrification in groundwater (e.g. residence time, DOC:O<sub>2</sub>:NO<sub>3</sub> relation) and therefore, are of lower importance in respect to the emissions of nitrogen loads to surface waters. Thus, nitrate concentrations in groundwater are a bad indication to identify areas where the limitation of nitrogen losses is crucial for the protection of coastal zones with respect to nitrogen inputs. Strategies for the protection of coastal areas have to focus on other regions as strategies for protection of groundwater in respect to high nitrate concentrations. However, in both cases limitation of nitrogen surplus in (agricultural) soils has to be addressed as basic requirement.

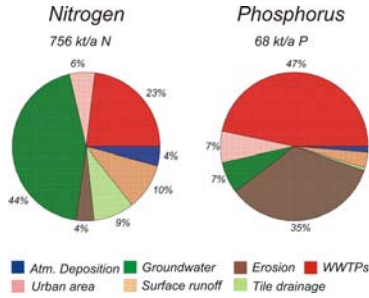


# From concentrations to loads – diffuse nitrogen inputs into groundwater in the context of the protection of coastal zones

M. Zessner

EVK1-CT-2000-00051

<http://danubs.tuwien.ac.at>



Pathways for nutrient emissions to the surface water of the Danube River Basin (daNUbs, 2005)

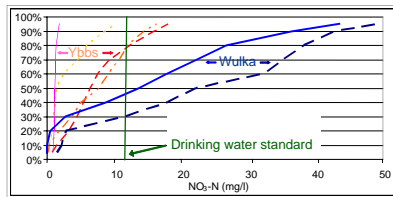
## Background

Nutrient (nitrogen and phosphorus) discharges from River Danube are a major concern in respect to deterioration (eutrophication) of the North-Western Black Sea Shelf area. A main part of the nitrogen emissions stems from (agricultural) diffuse sources and are transported to the river system via groundwater (see figure on the left side).



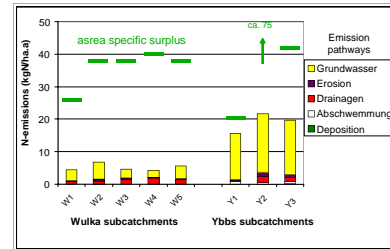
The Danube Basin: 13 countries - one responsibility

## From concentrations to loads



Cumulative distribution function of nitrate-nitrogen concentrations in subcatchments of the rivers Wulka and Ybbs (Zessner et al., 2005)

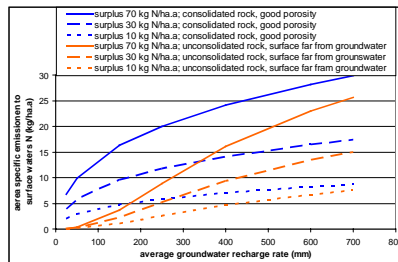
Up till now measures for reduction of nitrate losses from agriculture to groundwater focus on areas with high nitrate concentrations in groundwater (e.g. nitrate directive). In respect to nitrogen emissions to surface waters this strategy will fail! Areas with low concentrations in groundwater tend to be of high importance in respect to loads transported towards the Black Sea as it is shown for the examples of the Wulka and the Ybbs in the figure on the left and on the right. High nitrate concentrations in groundwater of the Wulka catchment go along with low nitrogen emissions to surface waters via groundwater.



Comparison of area specific surplus and area specific nitrogen emissions via different pathways in subcatchments of the rivers Wulka and Ybbs (Zessner et al., 2005)

## Nitrate degradation in groundwater

The reason for the above mentioned paradox is that the same surplus on (agricultural) areas leads to lower concentrations in groundwater in areas with high groundwater recharge rates. Under these circumstances the conditions for nitrate degradation in groundwater (denitrification) tend to be unfavourable (lower residence times, unfavourable DOC/O<sub>2</sub>/NO<sub>3</sub> relation). An example for a quantitative assessment of this relation based on the MONERIS approach (Behrendt et al., 1999) is shown on the right. The same surplus on agricultural area leads to increasing area specific emissions to surface water with increasing groundwater recharge rates.

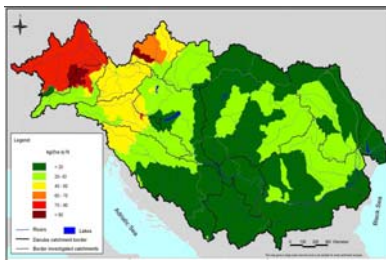


Area specific nitrogen emissions via groundwater to surface waters for two geological categories in dependency of area specific surpluses on catchment area and average groundwater recharge rates

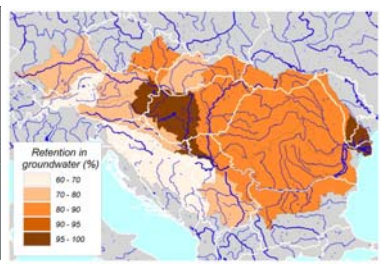
## Consequences for management strategies

A management strategy for reduction of nitrate emissions only for those areas with high nitrate concentrations in groundwater will fail in respect to protection of surface waters as the coastal zones. Development of best agricultural practice is decisive in respect to reduction of nitrogen losses, independent of the location of an area, because of:

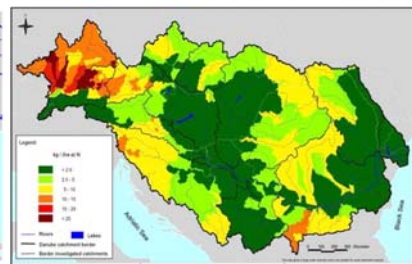
- Groundwater protection
- Protection of coastal zones
- Resource protection (nitrogen – energy)
- Protection from air pollution (N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> – emissions)



Distribution of the area specific surplus in agriculture for the Danube Basin (Schreiber et al., 2003)



Distribution of the percentage of the surplus on surface area removed by denitrification in groundwater (daNUbs, 2005)



Distribution of the area specific nitrogen emissions via groundwater to surface water (Schreiber et al., 2003)

## Partners in the daNUbs project:

Institute for Water Quality and Waste Management, TU Vienna, AUSTRIA; CO-ORDINATOR: Danube Delta National Institute for Research and Development, Tulcea, ROMANIA; Stirling Waterloopkundig Laboratorium, Delft Hydraulics, Delft, NETHERLANDS; Bureau of Sustainable Agriculture, Hanhofen GERMANY; Institute of Fisheries and Aquaculture - Vienna, BULGARIA; Institute for Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Berlin, GERMANY; Institute of Hydraulics, Hydrology and Water Resources Management, TU Vienna, AUSTRIA; Institute for Land and Water Management, Petzenkirchen, AUSTRIA; Institute for Marine Research, University Kiel, GERMANY; National Centre for Marine Research, Athens, GREECE; National Institute for Marine Research and Development "Grigore Antipa", Constanta, ROMANIA; Institute for Water Pollution Control, Vitki Budapest, HUNGARY; Department of Sanitary and Environmental Engineering, Budapest, HUNGARY; Institute of Public Finance and Infrastructure Policy, TU Vienna, AUSTRIA; Department of Meteorology and Geophysics, University of Sofia, BULGARIA; Institute of Water Problems, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, BULGARIA; Department of Systems Ecology, University of Bucharest, ROMANIA

## References:

Behrendt H., Huber P., Kormmich M., Opitz D., Schmitt O., Scholz G. and Uebe R. (1999) Nutrient Emissions into River Basins of Germany, on behalf of the Federal Environmental Agency Research Report 296 25 515 USA-FB 99-0376, Texte 23/00, ISSN 0722-186.

daNUbs (2005) "Nutrient Management in the Danube Basin and its Impact on the Black Sea" Institute for Water Quality and Waste Management, Vienna University of Technology, final report, supported under contract EVK1-CT-2000-00051 by the Energy, Environment and Sustainable Development (EESD) Programme of the 5th EU Framework Programme <http://danubs.tuwien.ac.at>

Schreiber, H., Behrendt, H., Constantinescu, L.T., Cvitanić, I., Drumea, D., Jabucar, D., Juran, S., Pataki, B., Snishko, S. & Zessner, M. (2005): Harmonised Inventory of Point and Diffuse Emissions of Nitrogen and Phosphorus for a Transboundary River Basin, Deliverable 5.5. of the daNUbs-project, Berlin, 150 p. <http://danubs.tuwien.ac.at>

Zessner M., Schilling Ch, Gabriel O. and Heinicke U. (2004) Nitrogen fluxes on catchment scale: the influence of hydrological aspects, Water Science and Technology, Vol 52, No 9, 163-173

## **Preferential Flow Paths as Visualized by Brilliant Blue FCF Tracers in a Clayey Vadose Zone**

Z. Vryzas and E. Papadopoulou-Mourkidou

Aristotle University of Thessaloniki, Pesticide Science Laboratory, P.O.Box 1678, 54124 Thessaloniki, Greece

In order to visualize the preferential flow paths in cornfields of northern Greece the tracer Erioglaucine A (brilliant blue FCF) was applied and its application was followed by 45 mm irrigation (according to the local agricultural practice) and 24 h later a trench was dug and several vertical 2.5-5 cm thick sections up to 150 cm depth were excavated. Photos of the stained sections were taken prior to excavation of each slice. From images of the dyed flow paths was determined that the chromatographic flow was restricted in the upper 0-15 cm depth, where the dye coverage was almost 80-100%, below that level preferential flow was the predominant processes of water movement. From the visual inspection of the dye images, it was noted that there were different types and origins of preferential flow paths. The main and thickest preferential flow paths were owed to the shrinkage of the clay minerals during its drying. Those preferential flow paths started from the soil surface where they were 0.4-5 cm thick and continued below 150 cm where they became much more thicker (0.5-1 mm). Numerous preferential flow paths were also formed by the corn and weed roots penetration channels. Those paths were a few millimeters thick while in a few cases roots were absent, not functional or in a various stages of decay. Finally, earthworms forming burrows had a high contribution to the total preferential networks. The present work is supporting of the results obtained from suction cups concerning the leaching of corn applied herbicides.



## Preferential flow paths as visualized by brilliant blue FCF tracers in a clayey vadoze zone

Zisis Vryzas, and Euphemia Papadopoulou- Mourkidou

Aristotle University of Thessaloniki, Pesticide Science Laboratory, P.O.Box 1678, 54124 Thessaloniki, Greece  
e-mail: vryzas@agro.auth.gr

Water percolation constitutes the predominant factor during pesticide leaching. Water percolation in the soil profile is usually considered to be vertical presuming that water is distributed uniformly in the soil surface. However, in most cases this is not true resulting in two or three dimensionally movement.

Under normal (chromatographic) flow conditions, a pesticide remains sufficient time in the soil matrix allowing its adsorption/desorption and/or degradation. However, in compact clay soils, water containing pesticides moves via macropores bypassing microporous paths (preferential flow paths) and thus reaching faster to groundwater.

Many researchers have reported rapid pesticide and tracer movement through preferential flow paths. In this study, preferential flow paths in cornfields of northern Greece (Figure 1) were stained by Brilliant Blue FCF dye and identified.

Moreover the movement of bromide ions, alachlor, metolachlor, atrazine, DEA and DIA in the vadoze zone were monitored with the use of suction lysimeters.

The tracer Erioglaucine A (brilliant blue FCF) was applied to the soil surface and its application was followed by 45 mm irrigation (according to the local agricultural practice); 24 h later a trench was dug and several vertical 2.5-5 cm thick sections, up to 150 cm depth, were excavated. Photos of the stained sections were taken prior to excavation of each slice.

Images of the dyed flow paths demonstrated that the chromatographic flow was restricted only in the upper 0-15 cm depth, where the dye coverage was almost 80-100%; below that level the flow via preferential flow paths was the predominant course of water movement (Figure 2).

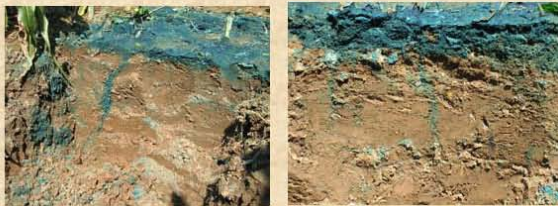


Figure 2. Chromatographic and Preferential flow

The visual inspection of the images taken indicated that in this studied area there were different types and of different origin preferential flow paths. The main and widest preferential flow paths were those created due to the shrinkage of the clay minerals during drying. These flow paths were relatively wide (0.5-5 cm) in the upper vadoze zone (Figure 3).



Figure 3. Preferential flow of Erioglaucine through macropores - (0.5-5 cm thickness) - created from shrinking of clay minerals

Narrower preferential flow paths created from the shrinkage of the clay minerals were also identified in deep soil layers, (Figure 4).



Figure 4. Preferential flow through macropores - Deep soil layers (0.5-1 mm thickness) - Mosaic form



Figure 5. Preferential flow through macropores - Root plant fissures

Numerous preferential flow paths were also formed by corn and weed roots penetration channels (Figure 5). These paths were of a few millimeter width with roots absent or present in various stages of decay.



Figure 6. Preferential flow through macropores - Earthworm burrows

Finally, earthworms forming burrows had a high contribution to the total preferential flow network existing in the vadoze zone of this area (Figure 6).

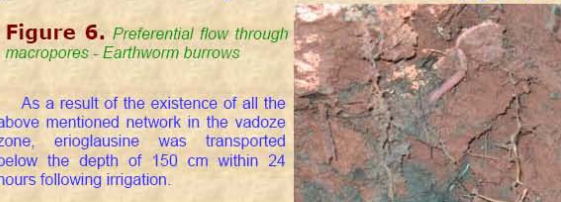


Figure 7. Concentrations of bromides in soil water during four year period

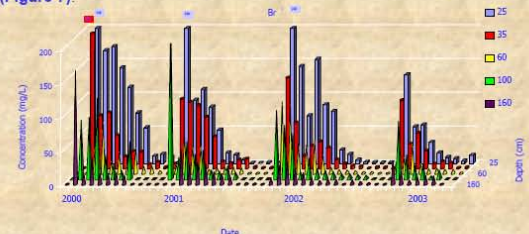


Figure 7. Concentrations of bromides in soil water during four year period

Acknowledgements

The work was supported by a grant from Syngein (Basel, Switzerland).

# Wastewater Reuse for Irrigation: Salinity Risk Evaluation-Prediction

N. Kathijotes

Higher Technical Institute  
POB 20423, Nicosia Cyprus, CY 2152

Dry climatic conditions occurring in southern Europe suggest serious consideration as to the reuse of treated effluents resulting from treatment of domestic effluents in agriculture. Taking into account that European statistics give about 50% of the total water resources are used for agricultural purposes and mainly irrigation, with this figure reaching even 70% in drier regions, then a tremendous conservation of hydrological resources can occur. Using however non-conventional quality water for irrigation, presents a number of ecological and health risks and poses problems connected to soil and ground water contamination that may alter ecological balance. The most serious problem to ecology is perhaps salinity which may be accumulated in the soil and around the root zone profile. Though experiments carried in Cyprus, SAR values are evaluated at various depths so as to form prediction patterns. Empirical suggestions from the general Cyprus experience on the topic are given in order to minimize salinity problems.

With many countries facing severe water shortages, reusing water for irrigation and industrial purposes is becoming more favorable [Petrov & Kathijotes 1996]. Cyprus with a total surface area of 9250 Km<sup>2</sup> due to its semiarid climate faces a problem of inadequacy of water for both its domestic and irrigation needs. The mean annual rainfall over the island is 500 mm which corresponds to 4600 million cubic meters of water over its total area. Due to the aridity of the region a proportion of about 80% of the rainfall returns to the atmosphere as loss by evaporation and evapotranspiration. By investigating a profile of SAR values of this experiment one may notice that the quality of the samples irrigated with groundwater obtained from nearby wells demonstrates higher values of SAR and therefore poses greater salinisation risk [Petrov & Kathijotes 1999]. This is due to the fact that most ground waters in Cyprus, due to their high content of calcium carbonate in the soils, present high level of salts. It is clear that ingredients contained in treated wastewater may create undesirable effects on soils and groundwater.

However, careful management may overcome these effects. We can then state that treated wastewater with relatively high electric conductivity and sodium can be used with no serious problems for irrigating industrial crop, if proper management of the wastewater is carried. Due to its higher NO<sub>3</sub> content treated wastewater can generally be considered as superior to farm water in increasing crop [Kathijotes & Marinova 2003]. Wastewater reuse poses danger to farmers and personnel using it due to its content of pathogenic organisms and toxic substances. Proper regulations and information to farmers together with modern irrigation techniques particularly trickle irrigation, seem to minimize risk and give a promising note for the use of treated wastewater in an efficient way.

## References

- PETROV, K. & KATHIJOTES, N. (1996) Non-conventional water for Irrigation during Drought in Bulgaria. – *GeoJournal* Vol. 40 No. 4 pp 413-419 Dec. 1996, Dordrecht/Boston/London.
- PETROV, K. & KATHIJOTES, N. (1999) Wastewater Treatment and Reuse for Irrigation. – *International Water and Irrigation* Vol. 19, No. 2,
- KATHIJOTES, N. & MARINOVA, S. (2003) Wastewater Reuse for Irrigation: Evaluation of Salinisation Risk. – National Conference with International Participation, Ministry of Agriculture and Forestry, 22-23



# WASTEWATER REUSE FOR IRRIGATION: Salinity Risk Evaluation -Prediction

KATHIJOTES NICHOLAS

Higher Technical Institute,  
Nicosia-Cyprus  
nkathijotes@hti.ac.cy

International Conference on  
Agriculture and Water Management in the  
light of future challenges  
Graz, January 29 to 31, 2007



## ABSTRACT

Dry climatic conditions occurring in southern Europe suggest serious consideration as to the reuse of treated effluents resulting from treatment of domestic effluents in agriculture. Taking into account that European statistics give about 50% of the total water resources are used for agricultural purposes and mainly irrigation, with this figure reaching even 70% in drier regions, then a tremendous conservation of hydrological resources can occur. Using however non-conventional quality water for irrigation, presents a number of ecological and health risks and poses problems connected to soil and ground water contamination that may alter ecological balance. The most serious problem to ecology is perhaps salinity which may be accumulated in the soil and around the root zone profile. Though experiments carried in Cyprus, SAR values are evaluated at various depths so as to form prediction patterns. Empirical suggestions from the general Cyprus experience on the topic are given in order to minimize salinity problems.

## INTRODUCTION

With many countries facing severe water shortages, reusing water for irrigation and industrial purposes is becoming more favorable [1, 2, 3]. In planning and implementation of water reclamation and reuse, the intended water reuse application dictates the level of wastewater treatment required, the quality of the finished water and the method of distribution and application.

Cyprus with a total surface area of 9250 Km<sup>2</sup> due to its semiarid climate faces a problem of inadequacy of water for both its domestic and irrigation needs.

The mean annual rainfall over the island is 500 mm which corresponds to 4500 million cubic meters of water over its total area.

Due to the aridity of the region a proportion of about 80% of the rainfall returns to the atmosphere as loss by evaporation and evapotranspiration. If a balance is carried out of the water resources of Cyprus then in the incoming, one may include the mean annual crop of 900 million cubic meters which can be analyzed into 67% surface runoff and 33% groundwater whilst in the outgoing, one may include 37% of losses in the sea, 30% pumpage and flow from springs, 21% mean annual yield of the dams, and 17% as diversions for spade irrigation from the streams.

In Cyprus there are no permanent surface water streams or lakes but until some years ago, underground water resources were adequate to meet the local water demand.

However overexploitation of the underground water leads to a gradual decrease of groundwater resources. The reuse of sewage effluents however should be seriously considered as an important strategy in conserving water resources.

## EXPERIMENTING WITH WASTEWATER REUSE

Soil samples were taken from an area which was irrigated with treated effluent for about eleven years. Other plots in this area were also irrigated with fresh groundwater.

Samples were taken from both irrigation plots at intervals of 10cm to a depth of 1.20m.

The location selected was in Aglandja area, the farm of the Agricultural Research Institute. The soil in this area is characterized as Salitic Fluvisols, and its content was homogeneous throughout all profile.

The clay content varied from 20.2 to 22.4 % with high sand content. We can therefore define it as sandy-clay loam. They are poor in organic matter content 1% but rich in general Carbonate (CO<sub>3</sub>), 16-19%. Therefore their pH is high 8.92-9.87 which shows alkalinity characteristics.

In these soils only crops with high pH tolerance can grow.

As previously mentioned two types of water were used for irrigation.

1. Fresh ground water from a nearby well
2. Treated wastewater

The sewage had domestic origin with no industrial wastes. A secondary type of treatment is carried and treated water is collected at a pond near the investigation site.

## CHARACTERISTICS OF THE FARM WATER USED

high content of soluble elements toxic to agriculture electric conductivity = 3.0 mmho/cm from the cations predominant is Na<sup>+</sup> = 21.7 mg/l from the anions predominant is Cl<sup>-</sup> = 15.5 mg/l It should be noted that Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> is one of most toxic to crops.

## CHARACTERISTICS OF WASTEWATER USED

Content similar to fresh ground-water but contains additional elements and salts toxic to crop. Electric conductivity = 3.7 mmho/cm High in Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub> and high pH up to 9.2

## CONSTITUENTS OF CONCERN IN TREATED SEWAGE ARE

Suspended Solids, which can develop sludge deposits and consequently anaerobic conditions  
Biodegradable organics, whose decomposition can lead to the depletion of dissolved oxygen in the receiving waters,  
Pathogens, bacteria, viruses and parasites which can transmit diseases,  
Nutrients which include, nitrogen, phosphorus and potassium. They are essential in plant growth, but when discharged in waters, can lead to undesirable growth.  
Stable (refractory) organics, like phenols, pesticides and chlorinated hydrocarbons. These organics tend to resist conventional methods of wastewater treatment and are toxic to the environment.  
Hydrogen ion activity or pH affecting solubility and alkalinity of soils.  
Heavy metals which are basically of no concern to Cyprus as there are no heavy industries, and Dissolve inorganic, like sodium, magnesium calcium and others, which can damage crop and pose soil permeability problems.

## EXPERIMENTAL FINDINGS

The amount and kind of salts in treated effluents is probably the most important single parameter for evaluating the suitability of treated effluents for irrigation.

A typical example in the presentation of the evaluation of profile results is shown in fig. 1. The SAR (sodium absorption ratio) is investigated by the application of evaluation criteria at each increment of the soil profile under investigation. One may notice that the quality of the samples irrigated with groundwater obtained from nearby wells demonstrates higher values of SAR and therefore poses greater salinisation risk. This is due to the fact that most ground waters in Cyprus, due to their high content of calcium carbonate in the soils, present high level of salts. Soils of electrical conductivity below 4 dS/m and high values of SAR, between 13 and 15, are considered as sodic soils [7]. These soils also demonstrate high pH values, usually above 10, and present various agricultural problems, which are however manageable if proper care is given [8]. Table 1 shows various equations that evaluate the risk posed to soils due to wastewater quality.

TABLE 1: Estimation of Salinisation Risk

Sl	Criteria	Treated sewage index	Criteria range	Risk Evaluation
1	Ca + Mg Na + Cl + SO <sub>4</sub>	4.25	< 5	Non-saline risk 100%
2	1000 * Na Ca + Mg	36	100*	Non-saline risk 100%
3	1000 * Na Ca + Mg	36	100*	Salinisation risk 100%
4	2 * SAR	4.9	< 10	Classification 100%
5	2 * SAR	3.9	< 10	Classification 100%
6	2 * SAR	4.25	< 10	Classification 100%
7	2 * SAR	1.98	< 10	Classification 100%
8	2 * SAR	7.23	< 10*	Classification 100%
9	2 * SAR	4.72	< 10	Classification 100%
10	2 * SAR	2.74	< 10	Classification 100%
11	2 * SAR	5.96	< 10	Classification 100%
12	2 * SAR	9.65	< 10	Classification 100%
13	2 * SAR	1.3	< 10*	Classification 100%

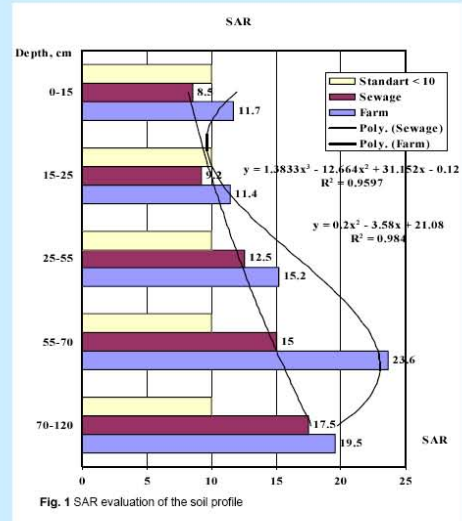


Fig. 1 SAR evaluation of the soil profile

Soils in Cyprus are generally of low organic content. It is evident that by using treated wastewater for irrigation, besides the great savings in hydrological resources, the organic content of soils increases by about an average value of 21% of the soil profile [9]. Due to this increase of organic matter, soils demonstrate structural improvement and consequently improvement of soil fertility. Structural improvement improves soils mechanically, and as a result the resistance to erosion is increased. This may be of greater interest in the restoration of disturbed land [10].

## CONCLUSIONS

It is clear that ingredients contained in treated wastewater may create undesirable effects on soils and groundwater. However, careful management may overcome these effects.

We can then state that treated wastewater with relatively high electric conductivity and sodium can be used with no serious problems for irrigating industrial crop, if proper management of the wastewater is carried.

Due to its higher NO<sub>3</sub> content treated wastewater can generally be considered as superior to farm water in increasing crop.

Wastewater reuse poses danger to farmers and personnel using it due to its content of pathogenic organisms and toxic substances. Proper regulations and information to farmers together with modern irrigation techniques particularly trickle irrigation, seem to minimize risk and give a promising note for the use of treated wastewater in an efficient way.

## REFERENCES

- [1] Petrov K., Kathijotes N. Non-conventional water for Irrigation during Drought in Bulgaria. - *GeoJournal* Vol. 40 No. 4 pp 413-419 Dec. 1996, Dordrecht/Boston/London.
- [2] Petrov K., Kathijotes N. Wastewater Treatment and Reuse for Irrigation. - *International Water and Irrigation* Vol. 16, No. 2, 1999.
- [3] Kathijotes N., Manova S. Wastewater Reuse for Irrigation: Evaluation of Salinisation Risk. - *National Conference with International Participation*, Ministry of Agriculture and Forestry, 22-23 Oct 2002 Sofia, BG and *Ecology and Future* Bulgarian Journal of Ecological Science, Vol. 11 No. 1, 2003.
- [4] Kathijotes N. Wastewater Reuse for Irrigation: An Alternative Water Resource in the Mediterranean Region. - *International Scientific Conference UNITECH 02*, Technical University of Gabrovo, Nov. 2002, Gabrovo, BG.
- [5] Goldberg, D., Bar-Yosef, B. 1971. Distribution of roots, water, and minerals as a result of trickle irrigation. *Journal Am. Soc. Hort. Sci.* 86:645-649.
- [6] Kathijotes N. "Salinisation Risk Assessment Resulting from Treated-Sewage Irrigation in Cyprus". *International Conference Risk 97* Oct 1997, Nis, Serbia, Yugoslavia.
- [7] Nyle, C. Brady "The Nature and Properties of Soils" Macmillan N.Y.
- [8] Asano T and Levine A. *Water Quality International* (1995) No4 IAWQ Symposium, Iraklio, Greece.
- [9] Kathijotes N. *Wastewater Reuse for Irrigation: An Acceptable Soil Conditioner?* BALWOIS 2006, Conference on Water: Observation And Information Systems For Decision Support, 23-28 May- Ohrid, FYROM.
- [10] Kathijotes N. "Reclamation of Disturbed Terrain By Using Wastewater Sludge: Cyprus Asbestos Mines" *Annual Of University of Mining and Geology St. Ivan Rilski* vol.47 Oct 2004 Sofia, BG.

# Monitoring the Uptake of Water and Nutrients of Old Common Oak (*Quercus robur* L.) Stand by Analysis of Sapwood and Stem Diameter Changes

I. Pilaš/N. Potočić/I. Seletković/B. Vrbek

Forest Research Institute  
Cvjetno naselje 41  
10450 Jastrebarsko, Croatia

In the hydrologic cycle of lowland hardwood forests which covers approximately 250,000 ha in Croatia, the forest stand presents an important sink of water and nutrients due to its strong transpiration role. These ecosystems contain hydromorphic soils and hydrophytic vegetation, which are characteristic of wetlands due to their placement in the lowest parts in the landscape with specific recharge/discharge relations. The protection of groundwater is one of key roles of these ecosystems, in addition to timber production. To study the hydrology of forest stand and soils, the groundwater series gathered from piezometric stations as a part of regional groundwater monitoring network (B. MAYER, 1993, I. PILAŠ et al. 2003), deposition and lysimetric data based on methodology used in ICP Forests (UN/ECE International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests - ICP Forests) are of great importance. By measurements of throughfall, lysimeters and piezometers the path of water and element fluxes from the forest canopy to the groundwater can be partly assessed. For a more detailed assessment of the forest hydrologic cycle, knowledge of water and elements uptake as a result of transpiration presents a mayor drawback. In some previous studies it was found that the seasonal pattern of water and elements fluxes can be tracked by aid of a simple method of measurements of tree stem diameter changes (PER● M● KI M. et al., 2001 and SEVANTO S. et al., 2002) and cambial electric resistance (PILAŠ I. & POTOČIĆ N., 2004). In this research, we attempted to obtain more detailed information of seasonal dynamics of elements by analyzing the chemical composition of cambial zone at breast height of common oak (*Quercus robur* L.) sample group of trees. This research was undertaken to determine the elements which the regular seasonal pattern is disrupted by lower transpiration rate as a consequence of forest decline. The lower rate of element uptake by the forest stand can increase its concentration in soils and further in groundwater. The research plot was situated in the north-western lowland part of Croatia in the Pokupsko Basin forest complex. Two groups, each consisting of ten common oak trees, both healthy and damaged, were selected in a 120 year old stand by visual assessment of crown defoliation. On selected trees parallel measurements were undertaken once a week to determine stem diameter changes and cambial electrical resistance. During the period of measurements, samples of sapwood at breast height diameter were gathered by use of Pressler auger. In order to collect an adequate amount of sapwood for analysis the samples consisted of five sub samples per tree. To preserve trees as much as possible, annotate destructive sampling method was performed and weekly samples were obtained only in the first half of vegetation period and in other half lower density of sampling regime were performed. From the gathered seasonal samples the total element concentration (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn and Zn) of the sapwood for healthy and damaged groups of trees separately was analyzed. Samples were dried, ground, and wet digested. Nitrogen (N) was determined through LECO CNS elemental analyzer, phosphorus (P) through UV/VIS spectrophotometer PE Lambda 1A, and other elements by AAS (Perkin-Elmer 3110). Together with sapwood composition, parallel measurements of groundwater on the piezometric station in close proximity to the plot and meteorological data from a nearby meteorological station of the Forest Research Institute were included in the analysis. Results of t-test showed that significant differences between the two groups of trees with different health conditions were found in N, Mg and Fe. A significantly higher amount of N and lower amount of Mg and Mn was found in the

sapwood of the healthy group of trees. The positive effect of increased crown damage estimated by GLM (General linear model) was determined for Mg, Fe and Mn and negative for N. The results of this research show that with use of simple method of tracking the sapwood chemical composition and stem diameter changes one can determine dynamics of the uptake of elements and water by common oak forest stand.

## References

- MAYER, B. (1993): The Process of Establishment of Forestry Hydropedological Information System (ŠHPIS) on The Basis of Monitoring Underground and Surface Waters in Kupcina, Varoški Lug, Cesma and Turopoljski Lug. Rad. Šumar. Inst., Jastrebarsko, . 28 (2), 171–184, Jastrebarsko.
- PER● M● KI M., E. NIKINMAA, S. SEVANTO, H. ILVESNIEMI, E. SIIVOLA, P. HARI, T. VESALA (2001): Tree stem diameter variations and transpiration in Scots pine: an analysis using a dynamic sap flow model. *Tree Physiology* 21, 889-897.
- PILAŠ I., B. VRBEK, D. MEDAK (2003): Application of Groundwater Monitoring in Management of Pedunculate Oak Forests in Croatia. CD proceedings of the 2nd Conference on sustainable development of energy, water and environment systems, Dubrovnik.
- PILAŠ, I., N. POTOČIĆ (2004): Dependence of intraseasonal variations of tree stem diameter changes, electrical resistance of cambial zone and groundwater in common oak stand (*Q. robur* L.) – *Šumarski list*, 5-6, 255-267, Zagreb.
- SEVANTO S., T. VESALA, M. PER● M● KI, E. NIKINMAA (2002): Time lags for xylem and stem diameter variations in a Scots pine tree. - *Plant, Cell and Environment* 25, 1071-1077.

# Monitoring the uptake of water and nutrients of old common oak (*Quercus robur* L.) stand by analysis of sapwood and stem diameter changes

Pilaš/ N. Potočić/ I. Seletković/ B. Vrbeč  
FOREST RESEARCH INSTITUTE - CROATIA

## TRIAL DESIGN

Two groups of 10 trees with different health status



Healthy

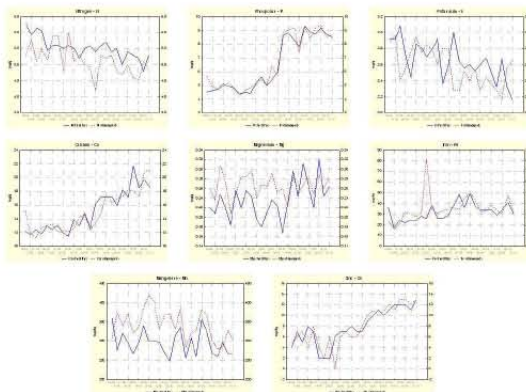


Damaged

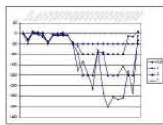


## RESULTS

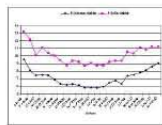
Seasonal dynamics of elements (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn) in sapwood



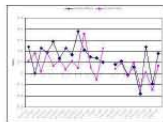
Groundwater level on piezometers - p0,5; p1,0; p2,0; p7,0



Electrical resistance - r

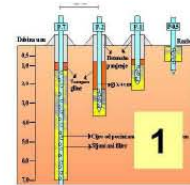


Stem diameter changes - d



## METHODS OF WORK

1. Groundwater monitoring on piezometric station
2. Sampling of sapwood and measurement of electrical resistance of cambial zone
3. Measurement of tree stem diameter changes



### 1. Differences in elements by t-test

Significant - N, Mg, Mn

Element	Mean Group 1	Mean Group 2	t-value	df	p-value	Mean Group 1	Mean Group 2	t-value	df	p-value
N	15.2007	13.2007	13.9999	18	0.0001	15.2007	13.2007	13.9999	18	0.0001
P	4.8015	4.2007	10.2007	18	0.0001	4.8015	4.2007	10.2007	18	0.0001
K	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.2800	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.2800
Ca	15.0007	15.0007	0.0007	18	0.9999	15.0007	15.0007	0.0007	18	0.9999
Mg	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.0001	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.0001
Fe	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.2800	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.2800
Mn	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.0001	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.0001
Zn	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.2800	1.2007	1.1007	1.1007	18	0.2800

### 2. GLM (general linear model) estimation of elements (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn) in sapwood which are influenced by tree health status (dependent variable)

Significant - N, Mg, Fe, Mn

Effect	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	p
Intercept	609.4	1	609.39	7.49087	0.01610
HEALTH	594.54	1	594.54	73.46300	0.00000
PIEZ	39.2	1	39.24	4.8786	0.03650
RES	93.8	1	93.80	11.6417	0.00174
CHAP	8.1	1	8.09	1.0044	0.32150
Magn	998.8	1	998.81	123.88	0.00000
Fe	1840.7	1	1840.70	228.16	0.00000
Mn	17494.1	1	17494.0	2163.95	0.00000
Zn	128.9	1	128.91	15.917	0.00022
Error	112204.4	450	249.34		

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
d	0.18348	-0.114877	-0.046375	0.038307	0.380399
r	-0.319440	0.260120	0.232321	-0.008039	0.331740
p0.5m	0.682044	0.073255	0.259140	-0.011108	0.116170
p1.0m	0.631173	0.251685	0.090062	0.008586	0.085480
p2.0m	0.201636	0.312440	0.070894	-0.092208	0.043448
p7.0m	0.290705	-0.363446	0.081691	0.019525	-0.083965
N	0.018880	0.210387	0.833382	-0.198992	-0.056997
P	-0.225004	0.697231	0.044713	0.203985	-0.238229
K	0.135220	0.051212	0.684844	0.034711	-0.135288
Ca	-0.047304	0.198483	0.135230	0.191505	0.185592
Mg	0.623141	0.057006	0.185007	0.022547	-0.138292
Fe	-0.055940	0.005860	-0.120400	0.003778	0.033718
Mn	0.341988	0.049199	0.236039	0.365215	0.112419
Zn	-0.247720	0.353767	-0.653339	0.201288	-0.381402
Exp.Var	2.435620	2.335815	1.893488	1.344859	1.122840
Exp.Tot	0.173973	0.189844	0.135249	0.090061	0.080203

### 3. Factor structure of all variables

# The Maribor-Tezno Lysimeter Station

I. Kopac<sup>1)</sup>, J. Fank, Ch. Lanthaler<sup>2)</sup> & S. Lapajne<sup>3)</sup>

- 1) Institute of Ecological Engineering Ltd.  
Ljubljanska ul. 9  
SI-2000 Maribor - Slovenia
- 2) JOANNEUM RESEARCH  
Institute of Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria
- 3) Institute of Public Health Maribor,  
Environmental Protection Institute  
Prvomajska ul. 1  
SI – 2000 Maribor - Slovenia

## Kurzfassung

Die Lysimeterstation Tezno, die seitens der Wasserwerke Marburg betrieben wird, soll zuverlässige Daten über die Auswirkung landwirtschaftlicher Aktivitäten auf das Grundwasser im Marburger Becken der Drau liefern. Die drei befüllten Lysimeter (zwei unter Ackerland, 1 Kontrolllysimeter unter Grasland), die in 80 cm unter Gelände bei einer Tiefe von 120 cm im Jahr 2003 eingebaut wurden, wurden 2006 durch zwei bodenhydrologische Messprofile (Wassergehalt, Tension und Bodentemperatur in vier verschiedenen Tiefen) ergänzt. Eine meteorologische Station liefert die Parameter für die Berechnung der Gras-Referenzverdunstung nach der FAO – Penman-Monteith Gleichung. Die Effizienz des Grasland - Sickerwassersammlers wird durch einen Tracerversuch überprüft.

## Summary

The Tezno lysimeter station (built up in 2003) consists of three backfilled gravitation lysimeters not reaching the earth's surface – installed in 80 cm below the surface, backfilled in 20 cm soil layers, 2 containers under agricultural fields, 1 container under grassland (control lysimeter) and a meteorological station where precipitation and the parameters for calculating Penman-Monteith evapotranspiration are measured.

In 2006 the field lysimeters have been equipped by additional soil hydrologic profiles measuring water content using TDR – probes, soil tension (using SIS – sensors and tensiometers) and soil temperature in 4 depths between 80 cm and 200 cm below surface beside the lysimeter containers. First results show a very rapid reaction of the measured water content values in the sandy and gravelly sediment on precipitation events. The two lysimeters in the field are not working properly. Until now no seepage water has been measured.

At the grass lysimeter seepage water has been sampled, the effectiveness of the lysimeter is tested by a tracing experiment. The water balance evaluation shows a maximum of seepage water of more than 50 mm on August, 13<sup>th</sup> 2006 as a reaction on the heavy precipitation events at beginning of August. The tracer breakthrough starts about 2 months after tracer application. First results of the hydro-chemical analysis of the seepage water show low concentration of chloride and sulphate as well as of nitrate. The measured nitrate concentration values are between 3.5 and 19 mg\*l<sup>-1</sup>.

The meteorological station serves the data for calculating grass-reference evapotranspiration using the ASCE – Penman-Monteith equation for short time intervals (30'). The given evaporation values from the measuring equipment seem to be too high and have to be proved.



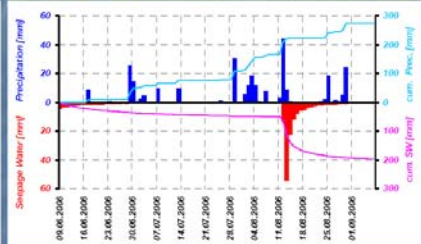
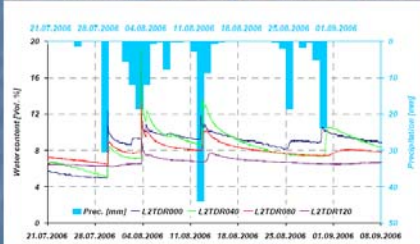
PROJECT: Work Package 1.1.3  
Finalisation and activation of the lysimeter research station Tezno for defining the hydrogeological parameters of the Dravsko polje  
KNET.2004.WP1.1.3



## The Maribor-Tezno Lysimeter Station

Irena Kopac, Johann Fank, Christine Lanthaler & Slavko Lapajne

In 2003 the municipality of Maribor built a hydro technical research station – the lysimeter station in Tezno at a reference point of Dravsko polje and passed the management over to the waterworks company Mariborski vodovod. To gain some knowledge for support symbiosis between agricultural activities and the supply of drinking water in 2005 a 3-year research program has been started to ascertain the basic relations between meteorological parameters, land use, pedological parameters and the amount and quality of drained water. The lysimeter station consists of three backfilled gravitation lysimeters not reaching the earth's surface – installed in 80 cm below the surface, backfilled in 20 cm soil layers, 2 containers under agricultural fields, 1 container under grassland (control lysimeter) and a meteorological station where precipitation and the parameters for calculating Penman-Monteith evapotranspiration are measured. Measured data at the lysimeter station will be used to transfer results to parts of the Drava basin and build up the data basis for validating water flow and nitrogen transport models. This poster shows the instrumentation of the Tezno Lysimeter station with additional probes, measuring water content, hydraulic potential and soil temperature in different depths of the unsaturated zone as well as first results of data acquisition and evaluation in 2006.

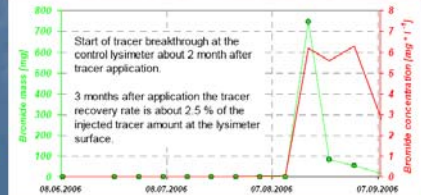


Meteorologic station (Prec., Temp., rel. Hum., Radiation, wind velocity)

Date	pH	Conductivity (25°C) µS*cm <sup>-1</sup>	Nitrate mg*l <sup>-1</sup>	Sulfate mg*l <sup>-1</sup>	Chloride mg*l <sup>-1</sup>
08.06.06	7.9	370	3.5	29	-0.5
23.06.06	7.6	600	4.4	27	0.7
30.06.06	7.6	600	6.7	34	1.1
07.07.06	7.5	700	7.5	38	1
14.07.06	7.4	700	8.4	42	1.1
21.07.06	7.4	700	8.8	45	1.5
28.07.06	7.4	730	8.8	45	1.8
04.08.06	7.4	710	10.2	51	1.8
11.08.06	7.3	680	10.6	54	2.2
18.08.06	7.3	740	14.1	31	2.4
24.08.06	7.3	650	14.6	33	2.7
31.08.06	7.4	640	13.9	33	2.8
08.09.06	7.5	720	17.2	42	3.1
15.09.06	7.4	730	19.0	44	3
22.09.06	7.1	640	4.4	35	2.1
29.09.06	7.7	580	4.9	40	2.1
04.10.06	7.5	500	5.7	40	2
13.10.06	7.9	500	6.6	41	2.1
19.10.06	7.9	500	7.5	43	2.2
27.10.06	7.7	600	8.0	44	2.3

Implementation of the soil hydrologic measuring profile and reaction of water content on precipitation events in different depths

The two lysimeters in the field are not working properly. Until now no seepage water has been measured. The grass lysimeter is working, the effectiveness is tested by a tracing experiment.



Tracer application, water balance, start of tracer breakthrough

Seepage water hydro-chemical analysis results

Mag. Irena Kopac, Dipl.-Ing.  
Institute of Ecological Engineering, Maribor, Slovenia

Univ. Doz. Dr. Johann Fank, Mag. Christine Lanthaler  
JOHANNELM RESEARCH  
Institute of Water Resources Management  
Hydrology and Geophysics

Mag. Slavko Lapajne, Dipl.-Ing.  
Institute of public health Maribor  
Environmental protection institute, Maribor, Slovenia

# Research of Diffuse Pollution in Aquifer of Dravsko Polje

I. Kopac<sup>1)</sup>, S. Lapajne<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Institute of Ecological Engineering Ltd.  
Ljubljanska ul. 9  
SI-2000 Maribor - Slovenia

<sup>2)</sup> Institute of Public Health Maribor,  
Environmental Protection Institute  
Prvomajska ul. 1  
SI – 2000 Maribor - Slovenia

## Summary

Intensive use of natural resources often leads to conflicting situation. In alluvial plains along rivers is developed intensive urbanization and agriculture. The same plains are also source of drinking water, which is endangered by pollution from urbanization and agriculture. Dravsko Polje (Drava filed) is one of biggest and most important aquifers in Slovenia and assures the supply of drinking water to the population of northeast Slovenia. Located is in the area between Maribor, Pragersko, the river Polskava and Ptuj. It is shaped as a triangle. At Maribor is Dravsko Polje 4 kilometers wide and in the middle part at Zlatolicje 13 km wide. The Slovenian Drava river basin covers 3253 km<sup>2</sup> with a share of 1358 km<sup>2</sup> agricultural land, mainly in Dravsko Polje (40% arable land, 47% grassland, 14% others). Dravsko Polje is one of three major agricultural regions in Slovenia (the other two are Ptujsko Polje and Mursko Polje), where farming is highly intensive and where impact on Drava river basin can be anticipated. So it is necessary to assure symbiosis between agricultural activities and the supply of drinking water. To master this situation and for the need of hydrological circumstances and conditions expertise on the filtering of dangerous substances into aquifer of Dravsko polje, the municipality of Maribor built a hydrotechnical research station – the lysimeter station in Tezno.

Water body of this aquifer is not united, the research of groundwater done in Dravsko polje showed that exist three hydrogeological units. They are more or less separated. Each has its own catchments area, special watering, leaking and drainage of groundwater regime. Research lysimeter station Tezno is situated in first hydrogeological unit. But in the main part of Dravsko Polje we have brown district soil. As we have similar conditions on main part of Dravsko Polje, we can get with experiments on one part parameters for screening models for other.

In the north part of Dravsko Polje (I. and II. hydrogeological units) was more done in the past, so on monitoring of groundwater as on some remediation and prevention of pollution. Also for now are water protected zone determinated only for north part of Dravsko Polje. This results in much better quality picture of groundwater in the north part. The aim is to preserve or to improve good practice in the north part of Dravsko Polje and to transfer these experiences to the south part, where is situation very critical.





# The Nitrate Monitoring in the System Soil-Groundwater - the Effective Drinking Water Source Management!

B. B. Železnik<sup>1</sup>/V.Zupanc<sup>2</sup>/M.Pintar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JP Vodovod-Kanalizacija d.o.o.  
Public Water Supply Company–  
Vodovodna cesta 90  
1000 Ljubljana – Slovenia

<sup>2</sup> University of Ljubljana,  
Biotechnical Faculty, Agronomy Department  
Center for Agricultural Land Management and Agrohydrology,  
Jamnikarjeva 101  
1000 Ljubljana - Slovenia

Water field Kleče is, with its total capacity of 2000 l/s, the heart of Ljubljana's fresh water supply system. The area of the water plant's watershed is used for agriculture, predominantly for intensive vegetable production. In the nineties nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) concentration levels of the groundwater aquifer were increasing, therefore the following measurements and monitoring were set up:

## Groundwater monitoring

Twice a month groundwater is sampled on the well VIII of Kleče water plant. Results from the observed period from 2003 to 2006 show that nitrate concentration ranges between 8 and 16 mg/l. In the year 2005 slight concentration increase was noted, groundwater nitrate concentration never decreased below 10 mg/l.

## Monitoring of fertilizers in the soils on the water protected areas

The soil samples were taken on 0 – 20 cm, 20 – 40 cm and 40 – 60 cm in the fall after the harvest. 65 % of the soil samples were taken on the land, where crops were grown during the vegetation season, 20 % on the land, where vegetables were grown and 15 % on the grasslands. Analysis of results of the samples taken in the year 2005 showed acceptable  $\text{NO}_3\text{-N}$  level in 72 % of the samples, slightly exceeded allowable level of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the soil in 26 % of samples, and extremely exceeded allowable  $\text{NO}_3\text{-N}$  levels were in 3 % of samples. Comparing to the year 2001, when the monitoring started, the situation has improved. The percentage of the land with acceptable  $\text{NO}_3\text{-N}$  levels increased and the percentage of the land with exceeded  $\text{NO}_3\text{-N}$  content decreased.

## Measurements of nitrate leaching through the soil profile on the area of Kleče water plant

Since the year 2002 concentration of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in percolating water is monitored. On the premises of the Kleče water plant no fertilizers are used, therefore the results represent the nitrate natural background levels, which come from air to the soil. Nitrate quantity in the gravitational percolating water of individual precipitation event was between 0.49 mg to 295 mg  $\text{NO}_3\text{-N}$ , which is from 0.003 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  to 1,92 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ . Nitrate quantity in the percolating water changes during the season and during years and depends on the precipitation amount, season, plant uptake and soil processes. Established measurements and monitoring of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the soil, percolated water and groundwater enable quality monitoring of the soil and groundwater and provide control over agricultural practices, which influence the fresh water source. The results help to determine the correct use of plant fertilizers as well as enable prompt reaction to negative trends of the groundwater quality. Results of the measurements and analysis of several years are encouraging, showing decrease the share of the land where nutrient content severely exceeded allowable levels.

# Experimental Field Designed for Nitrate Migration Processes Studies in a Plant-Soil Water-Groundwater System

B. B. Železnik<sup>1</sup>/V.Zupanc<sup>2</sup>/N.Kacjan<sup>2</sup>/M.Pintar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JP Vodovod-Kanalizacija d.o.o.  
Public Water Supply Company–  
Vodovodna cesta 90  
1000 Ljubljana – Slovenia

<sup>2</sup> University of Ljubljana  
Biotechnical Faculty, Agronomy Department  
Center for Agricultural Land Management and Agrohydrology  
Jamnikarjeva 101  
1000 Ljubljana - Slovenia

The gravel aquifer of the Ljubljana Field is the drinking water source for almost 300 000 inhabitants of Ljubljana and its vicinity. Over 1990 ha of agricultural land are extended on the drinking water sources protection zones, which covers over 35% of the Ljubljana field. Agriculture is presumed to be the main non-point polluter of groundwater, and nitrate is the indicator for groundwater chemical status. Amount of nitrate accumulated in plants, and amount of nitrate remineded in a soil, which subsequently could be leached to the groundwater depend on: (1) fertilization intensity, (2) the origin of nitrate, (3) application time, (4) irrigation, (5) soil characteristics, (6) topography, (7) status of the cultivated land and (8) physical, chemical and biological processes in the soil.

In the year 2006 the field experiment for study of nitrate distribution in a soil – plant – groundwater system was set up. In the first year the experiment with the lettuce (April - June) and with the endive (August - November) was completed. The experimental plot was part of the field, where farmer grows lettuce and endive according his normal practice.

Four different sections were included in the experiment: (1) fertilization and irrigation according to farmer's practice, (2) no fertilization and farmer's irrigation practice, (3) fertigation with 100 % covering of evapotranspiration plant demand, (4) fertigation with 50 % covering of evapotranspiration plant demand.

Before started the experiment, the soil analyses were made. Nitrate mass fluxes in the system can be traced through the concentration variations and isotopic composition in a soil, in a water-soluble nitrogen, in a root system, in a plant (leaf) and in groundwater. The stable isotope <sup>15</sup>N was applied with fertilizer as a tracer. Two automatic precipitation recorder were placed on the field to record the amount of water on the field surface due to precipitation and due to sprinkler irrigation.

Soil water content was measured with time domain reflectometry (TDR mini Trase system), capacitance probes (EnviroScan) and tensiometers. Soil water was sampled with the ceramic suction cups placed on the depth of 50 cm. In each experimental plot three ceramic cups were built in. The piezometers were drilled for groundwater sampling. Two of them are situated in direction of groundwater flow into the field and three in the direction of groundwater flow out of the field.

Nitrogen concentrations and nitrate isotopic composition in groundwater, soil water and plants was measured.

# Feldgemüseanbau und Grundwasserqualität im Westlichen Grazer Feld – Konzipierung und Instrumentierung der Untersuchungsflächen

G. Ortner

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH  
Institute for Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

Beim Feldgemüsebau handelt es sich nach dem gärtnerischen Gemüsebau um die intensivste landwirtschaftliche Nutzungsform. Dieser hat in der Steiermark sein Hauptverbreitungsgebiet im Westlichen Grazer Feld. Gleichzeitig liegen dort weit verbreitet die Nitratgehalte seit Jahren über dem in Österreich gültigen Trinkwassergrenzwert von 50 mg NO<sub>3</sub>/l. Ob der Feldgemüsebau dazu beiträgt und inwieweit grundwasserschonendere landwirtschaftliche Bearbeitungspraktiken möglich sind, war Inhalt dieses Projektes.

Zur Abklärung des Sachverhaltes wurden in der innerhalb des Untersuchungsgebietes gemüseintensivsten Gemeinde (Zettling) zwei Feldmessstellen errichtet, wobei an jeder Feldmessstelle je zwei Schläge von 2003 bis 2005 beobachtet wurden. Eine Feldmessstelle wurde nach der ÖPUL 2000 Maßnahme „Integrierte Produktion im gärtnerischen Anbau von Gemüse sowie Heil- und Gewürzpflanzen im Freiland“ bewirtschaftet. Der anderen lagen die Prinzipien der Biologischen Landwirtschaft zu Grunde. Konkret werden die Richtlinien von Bio Ernte Austria eingehalten.

Je zwei Bewirtschaftungsschläge werden von einem Messschacht aus beobachtet. Demzufolge setzt sich eine Feldmessstelle aus einem Messschacht und zwei Einzelmessstellen zusammen. Letztere bestehen aus je einem Messprofil und einem Lysimeter.

Ein Messprofil ist in fünf Tiefenstufen (35, 60, 100, 150 und 200 cm) mit je einer Sonde zur Erfassung des Wassergehaltes (FDR Sonde ThetaProbe ML-2), mit je einer Sonde zur Messung der Saugspannung (GWM1 Gipsblock Watermark und T4 Monitoring Druckaufnehmer-Tensiometer) und mit je einer Saugkerze (Saugkerze SKP 100) zur qualitativen Erfassung des Bodenwassers bestückt. Ein Messprofil wurde zudem in fünf Tiefenstufen mit Bodentempersensoren (TH2-f Bodentemperaturfühler Type Fenwall Thermistor) ausgestattet. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte im zehn Minuten Intervall mit DL2e Datenloggern von Delta-T Devices Ltd.

Beim Lysimeter handelt es sich um Sickerwassersammler, bei denen jedoch die Bodenhorizonte oberhalb des Cu-Horizontes monolithisch entnommen wurden und daher ungestört eingebaut werden konnten. Die Lysimeter bestehen aus einem Kunststoffbehälter mit einem Fassungsvermögen von 1m<sup>3</sup> und einem Durchmesser von 116 cm. Die Lysimetersohle liegt jeweils 1,5 m unter GOK. Am Lysimeterboden befindet sich eine Öffnung für den Freiauslauf, für die am Lysimeterboden eingebauten vier Saugkerzen und für das Tensiometer.

Die Messschächte besitzen einen Durchmesser von 200 cm, eine exzentrische Einstiegsöffnung mit befahrbarer Flachabdeckung und reichen bis in etwa 250 cm Tiefe unter GOK. An der Messschachtinnenwand sind ein Schaltschrank und links und rechts davon je fünf Sickerwassersammelflaschen in einer der Saugkerzen entsprechenden Höhe montiert. Im Schaltschrank sind die Stromversorgung und der DL2e-Datenlogger untergebracht.

Aus Sicherheitsgründen (Schadgase) wurde der Schacht mit einer zeitgesteuerten Zwangsbelüftung ausgestattet. Zudem wurde ein Gaswarngerät angeschafft.

# Feldgemüseanbau und Sickerwasserqualität im Westlichen Grazer Feld – Integrierte Produktion versus Biologische Landwirtschaft

G. Ortner

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH  
Institute for Water Resources Management –  
Hydrogeology and Geophysics  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

Der Feldgemüsebau hat in der Steiermark sein Hauptverbreitungsgebiet im Westlichen Grazer Feld. Dort liegen gleichzeitig weit verbreitet die Nitratgehalte im Grundwasser seit Jahren über dem Grenzwert von 50 mg NO<sub>3</sub>/l. Inwieweit der biologische und der integrierte Feldgemüsebau dazu beitragen, war wesentliches Projektziel.

Dazu wurde an zwei nach der ÖPUL 2000 Maßnahme 2.11, kurz IP Gemüse, und an zwei nach den Richtlinien von Bio Ernte Austria bewirtschafteten Schlägen der Stickstoff- und Bodenwasserhaushalt von 2003 bis 2005 mittels Lysimeter und Bodenwassermesssonden beobachtet. Als Grundlage der Düngebemessung dient beiden Produktionsformen das KNS-System und für beide wurden in einschlägigen gesetzlichen Regelwerken und Richtlinien Ausnahmebestimmungen festgelegt. Damit sind bei IP Gemüse und beim biologischen Gemüsebau prinzipiell dieselben Düngemengen erlaubt. In der Praxis wirkt aber limitierend, dass bei höheren Stickstoffgaben die Krankheitsanfälligkeit der Bestände steigt. Zu deren Bekämpfung fehlen der biologischen Landwirtschaft aber die chemisch-synthetischen Pestizide.

Die Hauptfruchtfolgeglieder waren auf dem IP Gemüse Schlag HP1 Gerste-Kartoffel-Kürbis, auf dem IP Gemüse Schlag HP2 Kraut-Salat-Winterweizen, auf dem Biostandort TP1 Kraut-Kartoffel-Kürbis und auf dem Biostandort TP2 Winterdinkel-Salat-Winterdinkel. Die Erträge der IP Gemüse Standorte lagen teilweise weit über denen der Biostandorte. So betrug das Verhältnis beim Kraut 3,7:1, beim Kürbis 1,3:1. Die Stickstoffinpute durch Düngung und Pflanzenrückstände verhielten sich über alle drei Beobachtungsjahre gerechnet wie 1,7:1 (IP:Bio).

Die mittleren Sickerwassermengen der Einzelmessstellen unterschieden sich mit Werten zwischen 219 und 252 mm nur geringfügig. Die höchsten und die am stärksten jahreszeitlich schwankenden Nitratgehalte wurden generell in 35 cm Bodentiefe festgestellt. Die mittleren Nitratgehalte (Mediane) betrug in dieser Bodentiefe für die IP Gemüse Schläge 171,8 mg/l bzw. 125 mg/l, für die Biostandorte 102,4 bzw. 95,8 mg/l. In 200 cm Bodentiefe lagen auf den IP Schlägen die mittleren Gehalte über denen der darüber liegenden Horizonte (238,4 bzw. 235,7 mg/l), und der Trinkwassergrenzwert für Nitrat von 50 mg/l wurde während der ganzen Messperiode (2003-2005) nie unterschritten. Auf den Bioschlägen beliefen sich die mittleren Nitratwerte in 200 cm Bodentiefe auf 51,1 bzw. 76,7 mg/l. Der Trinkwassergrenzwert wurde teilweise eingehalten. Die maximale Überschreitung lag bei den IP Standorten beim 13-fachen des Grenzwertes, an den Biostandorten beim 6,6-fachen. Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass sich die Nitratgehalte der Sickerwässer der zwei Produktionsformen in 200 cm Bodentiefe signifikant voneinander unterscheiden und das Verhältnis der mittleren Nitratkonzentrationen von IP zu Bio mindestens 1:3 beträgt. Dieselbe Relation gilt für die Stickstofffrachten, welche als Mittel der drei Untersuchungsjahre für die IP Gemüse Schläge 167 kg N/ha bzw. 159 kg N/ha, für die Bioschläge 54 kg N/ha bzw. 48 kg N/ha ausmachten.

# Experiments with Radioactive-Contaminated Soils on the Lysimetric Field

L. Závodská\*/I. Matušek\*/T. Kovács\*\*/J. Plško\*/ P. Gerhart\*\*\*/J. Sirota\*\*\*

\* EKOSUR, 919 31 Jaslovské Bohunice, Slovakia

\*\* NuSi, ul. H. Meličkovej 12, 841 05 Bratislava, Slovakia

\*\*\* Jadrová vyrad'ovacia spoločnosť, a.s., 919 31 Jaslovské Bohunice, Slovakia

Experimental works on the lysimetric field were defined and performed within the scope of the solving of the project "Decommissioning of the NPP A-1 in Jaslovské Bohunice, Processing and Treatment of Contaminated Soils and Concrete Rubble". The main aim of the proposed lysimetric system was to obtain comparative results about individual radionuclide migration and their leaching in real conditions. The results should serve for the selection of the optimal method for contaminated soils deposition in real landfill dump.

The lysimetric field in NPP Jaslovské Bohunice is a concrete building (9.5 x 4 m) with six plastic tanks. Each tank was filled with 1 m<sup>3</sup> of compressed contaminated soil. Except tank No.1, all tanks are provided with plastic covers with artificial irrigation system. Each tank has a releasing valve at the bottom. **Tank No.1** should simulate natural state of contaminated area, and it receives only natural rainfall. **Tank No.2** is filled with draining as well as sorption layer from raw lignite (grain size 5-8 mm), which has a high content of humic acids. **Tank No.3** has a sorption layer from natural zeolite (grain size 5-8 mm) above drainage layer (gravel 8-15 mm). It imitates individual layers of the simple landfill. **Tank No.4** is similar to No.3 but it has two sorption layers of natural zeolite. It imitates the sandwich configuration of the landfill. **Tank No.5** contains only drainage layer and not compressed contaminated soil. **Tank No.6** is similar to No.1 but it has artificial irrigation system. It was used for the simulation of the designed basis accident (DBA) of the landfill in case of layer barriers or sorption layers disfunctioning, extreme rainfall and floods.

Practical performance of the lysimetric experiments began in the course of the year 2002 and the research project lasted for 3 years. In 2004 we drilled cores from tanks No.2 and No.4 for the purpose of the control of radionuclides migration in the soil profile. New created boreholes were used for experimental simulation of the preferential flows.

The results of the performed experiments have confirmed the potential utilization of natural zeolite and lignite as engineering barriers against <sup>90</sup>Sr leaching from a landfill of contaminated soils. In case of <sup>137</sup>Cs we have obtained unrepresentative results for individual sorption layers. Our experiments confirm the fact that the radiochemical equilibrium in natural conditions is not stabilized even after a longer period, as it is generally assumed in laboratory conditions. According to this, the new **transfer function (T<sub>A</sub>)**, with support of numerical models was implemented to use **experimentally obtained distribution coefficient (K<sub>DL</sub>)**, instead of distribution coefficient measured in laboratory (K<sub>D</sub>). By using these tools we have achieved higher exactness of results and model closer to the real conditions. These are important for modelling of radionuclide behaviour in the environment. It is important to highlight that in spite of insufficient technical equipment of the lysimetric tanks we were able to overcome some of these deficiencies by using of the numerical modelling and computing aid (I. MATUŠEK et al., 2005).

We suggest that the future research project should deal with problems connected with the monitoring of contaminated areas and influence of their contaminants on the underground water.

## References

MATUŠEK, I., L. ZÁVODSKÁ, T. KOVÁCS, J. PLŠKO: Evaluation of results from lysimetric experiments 2002-2005. Final Report, EKOSUR Company, 2005, 69 p. (in Slovak).

# EXPERIMENTS WITH RADIOACTIVE-CONTAMINATED SOILS ON THE LYSIMETRIC FIELD

L. Závodská\*, I. Matušek', T. Kovács'', J. Piško', P. Gerhart''', J. Sirota''''

\* EKOSUR, 919 31 Jaslovské Bohunice, Slovakia, zavodska@ekosur.sk, www.ekosur.sk

\*\* NuSi, ul. H. Meličkovej 12, 841 05 Bratislava, Slovakia

\*\*\* Jadrová vyrábajúca spoločnosť, a.s., 919 31 Jaslovské Bohunice, Slovakia

## Introduction

Lysimeters have been used to study water percolation through soil and evaporation from soil, and more recently to evaluate solute transport models and monitor the fate and mobility of contaminants (J.B. HANSEN et al., 2000).

Climate factors, temperature, soil texture, organic matter, microbial biomass, biological diversity and plant cover all influence the ultimate fate of chemical compounds applied to soils (P. BURAUDEL & F. FÜHR, 2000).

Radionuclides deposited on the soil by radioactive fallout due to nuclear weapon tests or nuclear accidents can enhance the radiation dose to man directly. Understanding the mechanisms of sorption and migration of radionuclides in the soil and their transfer into the food chain is necessary (T. SHINONAGA, et al., 2005). Radionuclides in the deep soil can ultimately arrive at remote areas by underground water movement. It is, therefore, also important to study the downward migration of them (Y.H. CHOI et al., 2005).

**Key words:** lysimeter, radionuclides, migration, sorption, desorption

## Lysimetric field in Jaslovské Bohunice (Slovakia)



Figure 1: Lysimetric field in NPP Jaslovské Bohunice (Slovakia)

The lysimetric field (Figure 1) represents the pilot project for modelling of various disposal models for radioactive contaminated soils in the environment. It is composed off six plastic tanks (Figure 2) in concrete construction filled with radioactive contaminated soils ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , and  $^{60}\text{Co}$ ). Figure 3 illustrates the minimum (tank No.1) and maximum (tank No.5) radioactive levels of studied soils and their spreading within the tank.

### Monitored parameters

#### Before commencement:

- input analysis of soils and precipitation,
- geotechnical characteristics of soil (size distribution curve, soil moisture, compressibility, porosity),
- radiochemical analysis of contaminated soils.

#### Continuously:

- chemical analysis: pH, conductivity, content of solid particles, colour in eluate as well as in precipitation,
- radiochemical analysis: specific activity of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$  in eluates; specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in filter cake.

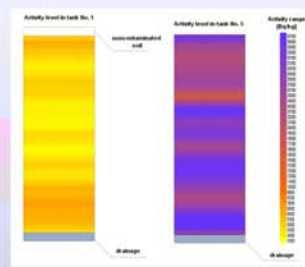


Figure 3: Initial radioactivity of soils used for filling tanks No.1 and No. 5

## Results & Discussion

According to the world experience the exact modelling of all parameters which influence the system - contaminated soil and water - does not exist. Validation of used models is only possible through transfer function ( $T_A(t)$ ), which includes experimentally obtained numerical constants. They take into account unpredictably occurring impacts in natural conditions.  $T_A(t)$  is defined as a speed of activity leaking of a compound from the lysimeter bottom.

$$T_A(t) = f(Q_0(t), \Theta(p), \alpha_1(p), \beta_1(p), \alpha_2(p), \beta_2(p), K_0(p), S_1(p), S_0(p), H, t, n_0(t,p), \Theta_{m1}(p), D_{M1}, \alpha D(p), \lambda, K_0(p) \text{ [or } K_1(p), n(p)], \omega(p), C_{s0}(p), C_0(p), C_n(t), n_1(t,p))$$

- dependent on hydraulic processes
- independent on hydraulic processes

- $Q_0$ : water input to the top of lysimeter [ $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ]
- $\Theta$ : material porosity
- $K_0$ : filtration coefficient in saturated material [ $\text{m}^{-1}$ ]
- $S_1$ : residual saturation of material
- $S_0$ : initial saturation of material
- $H$ : thickness of material in lysimeter [m]
- $t$ : time [s]
- $n_0$ : other less important parameters which influence hydraulic processes directly
- $\Theta_{m1}$ : coefficient of van Genuchten empiric relations (pore humectation) [m]
- $\alpha$ : coefficient of van Genuchten empiric relations (pore humectation)
- $\beta_1$ : coefficient of van Genuchten empiric relations (pore drying) [m]
- $\beta_2$ : coefficient of van Genuchten empiric relations (pore drying) [m]
- $\lambda$ : coefficient of van Genuchten empiric relations (pore drying)
- $\omega$ : immobile porosity of material
- $D_{M1}$ : coefficient of molecular diffusivity [ $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ ]
- $\alpha D(p)$ : coefficient of longitudinal dispersivity [m]
- $\lambda$ : decay time constant [s]
- $K_0$ : distribution coefficient [ $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ]
- $n$ : constant of Freundlich isotherm [ $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ]
- $w$ : constant of Freundlich isotherm
- $C_0$ : initial concentration of adsorbate
- $C_n$ : initial concentration of compound in water
- $n_1$ : initial concentration of compound in input water to lysimeter
- $\rho_0$ : other processes which influence the compound transport with unknown mechanisms

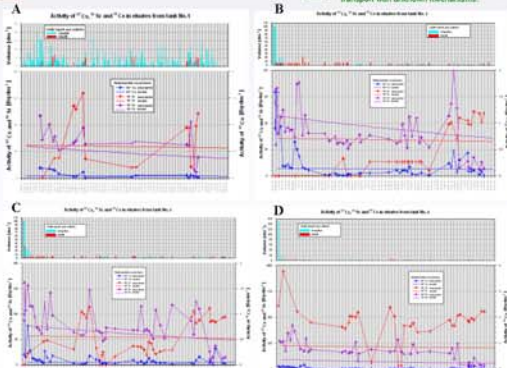


Figure 4: Comparison of the measured and modeled data for tank No.1 (A), tank No.3 (B), tank No.5 (C) and tank No.6 (D)

The VS2DTI and HYDRUS-1D programmes were used for compiling of calculation model for releasing the radioactive matters from soil into the eluate and their transport via water to the tank bottom (Figure 4). VS2DTI is a programme for modelling a 2D flow of underground water and material transport in vertical cross-section, within variably saturated watered zone. HYDRUS-1D can model the processes of hysteresis for saturation, capillary pressure, and filtration coefficient. It also allows the simulation of non-equilibrium sorption.

## Conclusions & Future

The utilization of natural zeolite and lignite in the role of engineering barriers for soils contaminated by  $^{90}\text{Sr}$  was successfully confirmed. On the other hand, these raw materials have not shown notable practicality for  $^{137}\text{Cs}$  because of its low migration rate in soil.

### Planned reconstruction of the lysimeters in NPP:

- placing the probes for measuring to the individual tanks without damaging the stabilized soil equilibrium,
- installing the probes for measuring moisture, temperature, pressure, etc. in various depths, data measuring connected with the datalogger,
- soil water pumping from various depths of the studied soil profile in order to specifying the sorptive-desorptive studies,
- new lysimetric irrigation regime according to obtained moisture data from updated probes,
- determination of the hydraulic speed and migration rate for the substances in the soil profile of the lysimetric tank.

## References

- BURAUDEL P. & F. FÜHR (2000): Formation and long-term fate of non-extractable residues in outdoor lysimeter studies. - *Environ. Pollut.*, 108, 45-52.
- CHOI, Y.H., K.M. LIM, H.J. CHOI, G.S. CHOI, H.S. LEE, C.W. LEE (2005): Plant uptake and downward migration of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  after their deposition on to flooded rice fields: lysimeter experiments with and without the addition of KCl and lime. - *J. Environ. Radioact.*, 78, 35-49.
- HANSEN, J.B., P.E. HOLM, E.A. HANSEN, O. HJELMAR (2000): Use of lysimeters for characterisation of leaching from soil and mainly inorganic waste materials. - Nordtest Technical Report 473, 49 p., Denmark.
- SHINONAGA, T., W. SCHIMMACK, M.H. GERZABEK (2005): Vertical migration of  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{226}\text{Ra}$  in agricultural soils as observed in lysimeters under crop rotation. - *J. Environ. Radioact.*, 79, 90-106.

## Revitalisation of the Lysimetric Station in Žihárec (Slovakia)

I. Matušek\*/T. Kovács\*\*/L. Závodská\*/J. Pliško\*

\* EKOSUR, 919 31 Jaslovské Bohunice, Slovakia,

\*\* NuSi, ul. H. Meličkovej 12, 841 05 Bratislava, Slovakia.

The lysimetric station in the municipality Žihárec (Slovakia) was constructed in 1950s. The station had played a role of an important research centre on the international level until 2003, when it was closed. After a careful assessment of the arisen situation we have intended to revitalize the station and the related area. The main goal of the upcoming project is to reconstruct the lysimetric station applying the latest technological and scientific knowledge. It includes restoration of the lysimeters and units for technical equipment as well as the lysimetric station building. The secondary aims of the project shall be the establishment of an educational and training centre for the lysimetric research and its incorporation into European network of lysimetric stations. The project also creates some job positions and supports the secondary employment opportunities.

Lysimetric station disposes of all objective prerequisites for becoming one of the research centres in Europe because its location is unique:

- it is situated in the region of Žitný ostrov; It is a territory which is bordering on the river Danube on the south and Malý Dunaj (Small Danube), branch of the Danube river, on the north. Therefore, it can serve for monitoring and protection of the groundwater quality in the particular area; it is generally known that groundwater of Žitný ostrov belong to the largest sources of drinking water in Europe,
- the level of the groundwater occurs max. 2 m under the area surface, which allows the effective monitoring of groundwater quality,
- the above mentioned area is located in the vicinity of watershed between the Danubian and Little Carpathian regions,
- the municipality Žihárec is situated close to Slovak-Hungarian and Slovak-Austrian borders, it creates suitable conditions for cross-border co-operation,
- the location offers already existing infrastructure (including technical buildings), which is suitable for performance of many modern lysimetric experiments in the particular region as well as outside of it,
- the former employees of the old lysimetric station still live in Žihárec, so the qualified specialists are prepared for research experiments performance.

Project would be financed particularly by EU funds, and will be divided into two main subprojects. Namely the first period, will be connected with reconstruction of lysimetric station. The second period of the project, for which is planned the creation of the research and educational centre, will be funded by the 7<sup>th</sup> Framework Programme. This period will be connected with scientific activities.

The municipality Žihárec should become a guarantor and an applicant of the project. The EKOSUR Company will play an important role in the project management and will be responsible for the project coordination. The NuSi Company will evaluate the obtained results by using the most suitable PC models. We also expect a co-operation of universities and companies from Slovakia, Austria and Hungary as the project partners.

Successful performance of the project targets will be a significant contribution to the monitoring and protection of the groundwater in the area with a huge reservoir of drinking water for central Europe. The creation and intensifying of the international co-operation among Slovakian, Austrian and Hungarian experts in respect of environmental protection also belongs to the project positives.

# REVITALISATION OF THE LYSIMETRIC STATION IN ŽIHÁREC (SLOVAKIA)

I. Matušek\*, T. Kovács\*\*, L. Závodská\*, J. Piško\*

\* EKOSUR, 919 31 Jaslovské Bohunice, Slovakia, zavodska@ekosur.sk, www.ekosur.sk  
 \*\* NuSi, ul. H. Meičkovej 12, 841 05 Bratislava, Slovakia

## Introduction

Groundwater resources of the specific area constitute the main source of potable water for surrounding cities and villages. Therefore, various studies were initiated to investigate the probable risks of groundwater contamination with pesticides and other chemical compounds (PAPADOPOULOU-MOURKIDOU et al., 2004). Optimum utilization of surface and groundwater resources has become extremely important to fill the gap between water demand and supply. KAHLOWN et al. (2005) reported that the contribution of groundwater in meeting the crop water requirements varied with the water-table depth.

Lysimeters represent the best experimental technique for investigating capillary up-flow from shallow water tables and the associated processes of salt accumulation, plant water use, and growth response (ZHANG et al., 1999).

**Key words:** lysimeter, groundwater, PC models

## Lysimetric station in Žihárec (Slovakia)



**Figure 1:** Lysimetric station Žihárec (Slovakia)

Lysimetric station in Žihárec (Figure 1) disposes of all objective prerequisites for becoming one of the research centres in Europe because its location is unique:

- it is situated in the region of Žitný ostrov; It is a territory which is bordering on the river Danube on the south and Malý Dunaj (Small Danube), branch of the Danube river, on the north. Therefore, it can serve for monitoring and protection of the groundwater quality in the particular area; it is generally known that groundwater of Žitný ostrov belong to the largest sources of drinking water in Europe,

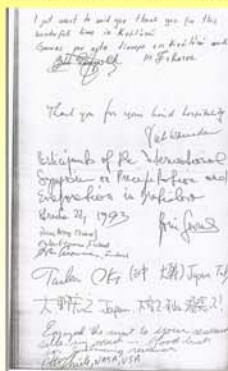
- the level of the groundwater occurs max. 2 m under the area surface, which allows the effective monitoring of groundwater quality (Figure 2),
- the above mentioned area is located in the vicinity of watershed between the Danubian and Little Carpathian regions,
- the municipality Žihárec is situated close to Slovak-Hungarian and Slovak-Austrian borders, it creates suitable conditions for cross-border co-operation.



**Figure 2:** Hydrogeological situation around Žihárec

## History of the lysimetric station

The lysimetric station in the municipality Žihárec (Slovakia) was constructed in 1950s. The station had played a role of an important research centre on the international level until 2003, when it was closed.



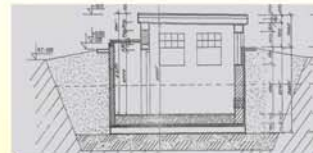
Lysimetric station in Žihárec was very often visited with international lysimetric teams in the past. The station created very good conditions for research tasks. The chronicle of the station documents an important role of this station in the international research (Figure 3).



**Figure 3:** Chronicle of the lysimetric station in Žihárec

## Project of the revitalisation

After a careful assessment of the arisen situation we have intended to revitalize the station and the related area. The main goal of the upcoming project is to reconstruct the lysimetric station applying the latest technological and scientific knowledge. It includes restoration of the lysimeters and units for technical equipment (Figure 4) as well as the lysimetric station building. The secondary aims of the project shall be the establishment of an educational and training centre for the lysimetric research and its incorporation into European network of lysimetric stations.



**Figure 4:** Lysimetric station Žihárec, drawing of the laboratory

## Project time schedule

- 2006 – Elaboration of the projects in order to apply for a financial support for them.
- 2007 – Project approval, commencement of the reconstruction, and presentation of the intentions
- 2008 – Finishing of the relevant area reconstruction, the first excursion of the international research teams from the EU, preparation of the projects on the scientific research topic.
- 2009 – Commencement of the research programmes, Commencement of the educational centre activities. Presentation on the obtained results in the international scientific field. For the purpose of the research presentation, organisation of excursions for the interested persons from agricultural and industrial sphere, schools, forestry and viticulture.

## Conclusions & Future

We are persuaded that lysimetric station Žihárec will play important role in lysimetric research again. We are looking for partners for EU project funds, FP7 and INTERREG.

## References

KAHLAWN, M.A., M. ASHRAF, ZIA-UL-HAQ. Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. *Agric. Water Manag.*, 2005, 76, p. 24-35.

PAPADOPOULOU-MOURKIDOU, E., D.G. KARPOUZAS, J. PATSIAS, A. KOTOPOULOU, A. MILOTHRIDOU, K. KINTZIKOGLU, P. VLACHOU. The potential of pesticides to contaminate the groundwater resources of the Axios river basin in Macedonia, Northern Greece. *Sci. Total Environ.*, 2004, 321, p. 127-146.

ZHANG, L., W.R. DAWES, P.G. SLAVICH, W.S. MEYER, P.J. THORBURN, D.J. SMITH, G.R. WALKER. Growth and ground water uptake responses of lucerne to changes in groundwater levels and salinity: lysimeter, isotope and modelling studies. *Agric. Water Manag.*, 1999, 39, p. 265-282.



# Behaviour of Acidic Pesticides in Soils

M. Kah/C.D. Brown

Environment Department, University of York Heslington, York, YO10 5DD, UK and Central Science Laboratory, Sand Hutton, York YO41 1LZ, UK

Twenty-five percent of active substances used in Europe are either weak acids or bases. Furthermore, an increasing proportion of new actives proposed for registration are ionisable (e.g. sulfonyleureas) and the formation of acidic metabolites is common during degradation processes. The group includes several of the most important contaminants of surface and ground water. Approaches to predict the influence of soil properties on the behaviour of ionisable pesticides in soils are poorly developed. Current regulatory assessments are based on limited datasets and frequently default to methods developed for non-ionic chemicals, although it is known that ionisable compounds do not react like neutral molecules (M. KAH & C.D. BROWN, 2006).

Experiments were carried out to better understand how soil properties influence the sorption and degradation behaviour of ionisable pesticides in soils. Adsorption coefficients and degradation half-lives were determined for six acidic (2,4-D, dicamba, fluroxypyr, fluazifop-P, metsulfuron methyl and flupyrsulfuron methyl) and four basic pesticides (metribuzin, pirimicarb, fenpropimorph and terbutryn) in nine arable soils, chosen to represent a range of native pH values (4.4-8.0), organic carbon contents (0.7-3.2%) and clay contents (5.6-41.5%).

The results confirm that the Koc concept (assuming that adsorption is directly proportional to soil organic carbon content) cannot be applied to ionisable pesticides (Fig.1.). Statistical analyses against a wide range of physical and chemical properties of the pesticide and soil identified that the strongest predictors of variability in sorption are the log D value (the Kow or hydrophobicity corrected to soil pH) and the organic carbon content of the soil (%OC). Regressions based on these two parameters and a pesticide descriptor were able to explain 72% of the variability in sorption for acids when tested on an independent dataset. The behavior of bases was more complex and approaches specific to each compound seem to be required. The influence of soil parameters on degradation depended on the pesticide-soil combination and no obvious link between adsorption and degradation processes was observed.

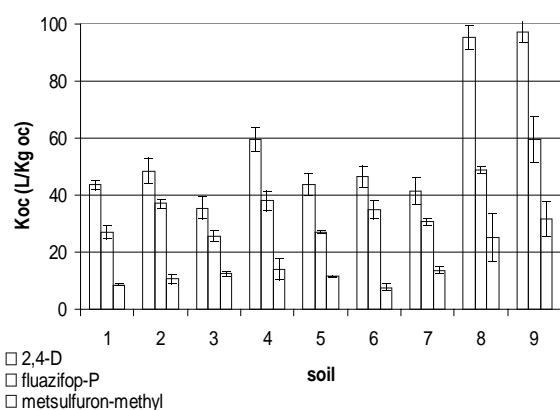


Fig. 1. Variation in Koc of three pesticides in nine soils

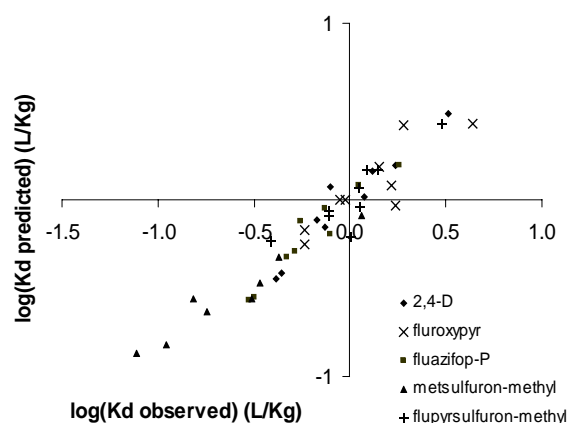


Fig. 2. Prediction of log Kd based on log D and %OC

KAH, M. & BROWN, C.D. (2006) Adsorption of ionisable pesticides in soils. Rev. Environ. Contam. T. 188, 149-218.

# Behaviour of Acidic Pesticides in Soils

## Introduction

Acidic pesticides comprise a significant proportion of existing and new pesticides. This group includes frequent contaminants of groundwater and surface waters. They can be partially ionised within the range of normal soil pH, and this strongly affects their reactivity in soils (Fig. 1). Approaches to predict their behaviour are poorly developed and frequently default to methods developed for non-ionic chemicals [1].

## Aim

Measurement of **adsorption and degradation** parameters for a set of acidic pesticides in a large number of soils to better understand:

- The dependence regarding soil and chemical properties and
- The link between these two processes

## Materials and Methods

- **Six acidic pesticides:** 2,4-D, dicamba, fluroxypyr, fluzifop-P, metsulfuron-methyl and flupyrsulfuron-methyl; analysed with HPLC and LSC techniques
- **Nine arable soils** from the UK: range of  $pH_{Ca2}$  (4.4-8), clay (5-41%) and organic carbon content (0.7-3.2%)
- **Adsorption:** batch method (OECD guidelines n°106) — Kd
- **Degradation:** incubation (OECD guideline n°307) — DT50

## Results

1. Koc concept cannot be applied to ionisable pesticides (Fig.2) (adsorption being directly proportional to soil OC% for neutral compounds, Koc is relatively invariant)
2. Statistical analysis against a wide range of physical and chemical properties of the pesticides and soils identified the best predictors for Kd and DT50:
  - Adsorption:  $\log K_d = a \cdot \log D + b \cdot OC\% + c$  ( $0.76 < r^2 < 0.91$ ) (Fig. 3)
  - (log D: Kow or hydrophobicity corrected to soil pH)
  - Degradation: absence of good predictor
3. No correlation between adsorption and degradation parameters

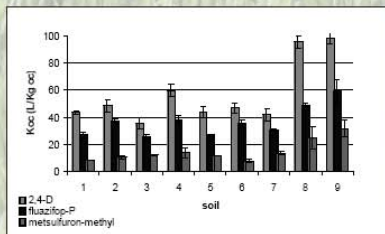


Fig. 2. Variation in Koc of three pesticides in nine soils

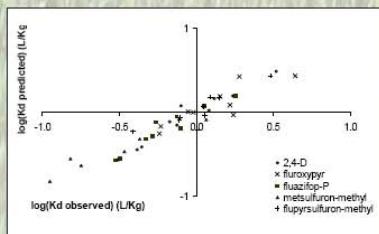


Fig. 3. Prediction of log Kd based on log D and OC%

## Conclusion

- Adsorption of six acidic pesticides in soil could be predicted based on the log D (Kow or hydrophobicity corrected to soil pH) and organic carbon content of the soil ( $p < 0.001$ )
- Degradation depends on a complex interaction between different processes and seems difficult to predict and to link with the adsorption process

**Reference:** [1] Kah, M. and Brown, C.D. (2006) Reviews of Environmental Contamination and Toxicology (in press).



Central Science  
Laboratory

## Authors

Mélanie Kah<sup>1</sup>  
m.kah@csl.gov.uk

Colin D. Brown<sup>2</sup>

## Addresses

<sup>1</sup>Central Science Laboratory,  
Sand Hutton,  
York,  
YO41 1LZ.  
UK.

<sup>2</sup>University of York,  
Heslington,  
York,  
YO10 5DD,  
UK.

## Acknowledgement

This research was funded  
by Defra under project  
PS2203



CSL is an Executive Agency of Defra

# A Multi-Isotope Approach (Pb, S, N, O and Sr) to Estimate the Impact of Long Distance Air Pollution on Sensitive Alpine Karst Groundwater

M. Kralik<sup>1,3</sup>, F. Humer<sup>1</sup>, J. Nurmi-Legat<sup>1</sup>, A. Hanus-Illnar<sup>1</sup>, J. Grath<sup>1</sup>, M. Mirtl<sup>1</sup>, M.-T. Grabner<sup>1</sup>, S. Halas<sup>2</sup> & M. Jelenc<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, 1090 Vienna, Austria

<sup>2</sup>Mass Spectrometry Laboratory, Marie-Curie-Sklodowska Univ. Lublin, Poland

<sup>3</sup>Geochronology Lab., Center for Earth Sciences, Univ. of Vienna, Austria

Karst and other sensitive aquifers contribute up to 90 % to the total drinking water supply in some European regions. However, they are more vulnerable to contamination than other aquifers due to short transfer times from recharge to source. Therefore, the main objective of this study is to show possibilities to quantify the impact of even small long distance air pollution on sensitive water resources (e.g. karst). In a pilot study on a small number of samples as precipitation, soil, rock and spring waters were collected in a small catchment at the front of the Northern Calcareous Alps to test the application of isotope analyses to estimate the amount of far transported contaminants and their impact on the spring water quality. The hydrochemistry and the isotopic composition of nitrate, sulphate, strontium, lead and the water molecule itself has been analysed in five laboratories, each of them specialised in a certain group of isotopes.

Comparison of strontium isotope measurements in precipitation, spring waters and dolomite bedrock in a relatively pristine and remote area at the front-range of the Northern Calcareous Alps in Austria with literature data indicate that <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-isotope ratios in precipitation (0,7092) support at least a more radiogenic, far transported source in addition to a possible recycling of local dolomite and limestone dust (0,7080-0,7083). Spring waters show similar ratios (0,7083-0,7084) confirming Sr-isotopes are good indicators for groundwater contact with specific host rocks.

The monthly precipitation samples show <sup>18</sup>O-rich sulphate ions, whereas the soil sulphates change in a direction to lower <sup>18</sup>O- and higher <sup>34</sup>S-values with depth. The spring waters and the bedrock dolomites show relatively low  $\delta^{34}\text{S}$ -values (4-9 ‰). Assuming the precipitation samples and the dolomite bedrocks are endmembers the contribution of atmospheric sulphate can be estimated to be 20 % in the spring waters and 10-45 % in the soil samples.

The monthly precipitation and total deposition samples show <sup>18</sup>O-rich nitrate ions, whereas the spring waters show variable influence of soil nitrates. Assuming the field of soil nitrification and the precipitation as endmembers an atmospheric contribution of 10-30 % derived from fossil fuel burning and agricultural emissions are calculated.

Radiogenic Australian gasoline-lead still dominates with 60-80 % the composition of the trace lead in the spring waters. In addition to the lead leached from the dolomite bedrock a third source contributes about 5-10 %. This second long distance Pb-contribution may originate from coal burning and/or Ag-Pb-ore smelting in Central Europe in the past.

In spite of strong efforts initiated by the European Union and other international organisations in the past 20 years, air pollution from industry, traffic and agriculture is still significant. Transboundary transport processes by atmospheric circulation are responsible for its long range distribution. There is evidence that even remote mountainous regions in the Pyrenees or Alps as well as the Mediterranean islands are contaminated by inorganic and organic airborne pollution. This is most evident on the surface, but also penetrates into the aquifers, particularly in carbonate areas with strong karstification.

In order to protect these water resources effectively the amount of the far transported pollutants should be identified and quantified at an early stage. For many transboundary pollution problems the time between recognition and relieve measures are in the range of ten years or more. In the last years, the monitoring was focused on surface water. However, airborne pollution of groundwater

was rather neglected. To avoid the long term degradation of aquifer systems, new management tools and innovative alarm systems are urgently necessary.

## A MULTI-ISOTOPE APPROACH (PB, S, N, O AND SR) TO ESTIMATE THE IMPACT OF LONG DISTANCE AIR POLLUTION ON SENSITIVE KARST GROUNDWATER

M. Kralik<sup>1</sup> (martin.kralik@umweltbundesamt.at), F. Humer<sup>1</sup>, J. Nurmi-Legat<sup>1</sup>, A. Hanus-Ilmar<sup>1</sup>, J. Grath<sup>1</sup>, M. Mirtl<sup>1</sup>, M.-T. Grabner<sup>1</sup>, S. Halas<sup>2</sup> & M. Jelenc<sup>3</sup>

<sup>1</sup>) Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, A-1090 Vienna

<sup>2</sup>) Mass Spectrometry Laboratory, Marie-Curie-Sklodowska Univ., PL-20-031 Lublin, Poland

<sup>3</sup>) Geochronology Lab., Univ. of Vienna, Althanstr. 14, A-1090 Vienna

### Objectives

- The impact of air pollution is a substantial European and global Problem which has been observed even in the most remote areas of our planet. Not only surface water, but also groundwater resources are partly endangered by dry and wet deposition from the air. Karst and other sensitive aquifers contribute up to 90 % of the total drinking water supply in some European regions.
- Karst-water is more vulnerable to contamination than other aquifers due to short transfer times from recharge to source.
- The main objective of this study is to show possibilities to quantify the impact of air pollution on sensitive water resources (e.g. karst), to develop an innovative surveillance tool based on isotopes and meteorological considerations.

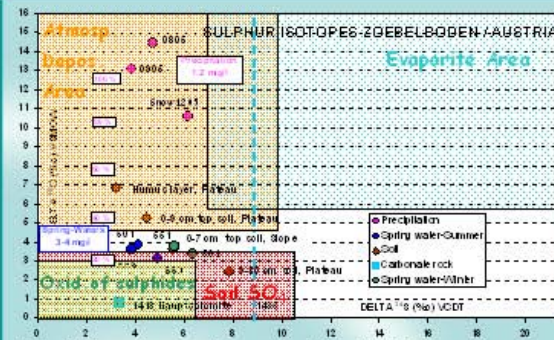


Fig.1: Sulphur versus oxygen isotopes of sulphates in precipitation, soils, spring-waters and carbonate rocks. Dashed vertical lines show sulphur isotope measurement only. Areas of Atmospheric Deposition, oxidation of sulphides, soil sulphates and evaporites are shown as reported by Mayer (2003).

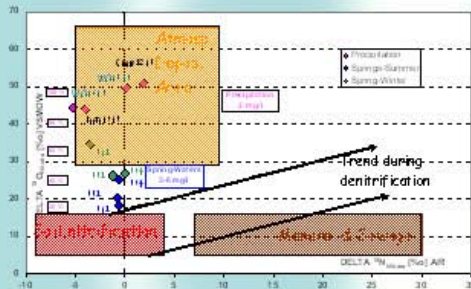


Fig.2: Nitrate versus oxygen-isotopes of nitrate of the Integrated Monitoring precipitation, spring waters.

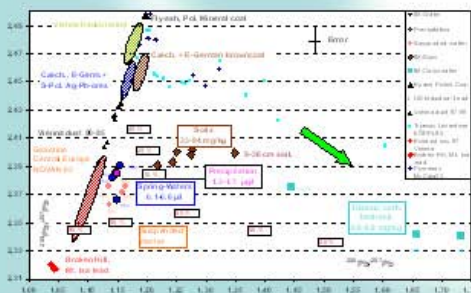


Fig.3: Isotopic composition of lead in precipitation, spring waters, soils and rock samples form a three source mixture between gasoline lead, industrial lead and Triassic bedrock.

### Results

- Comparison of strontium isotope measurements in precipitation, spring waters and dolomite bedrock in a relatively pristine and remote area at the front-range of the Northern Calcareous Alps in Austria with literature data indicate that <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-isotope ratios in precipitation (0,7092) support at least a more radiogenic, far transported source in addition to a possible recycling of local dolomite and limestone dust (0,7080-0,7083). Spring waters show similar ratios (0,7083-0,7084) confirming Sr-isotopes are good indicators for groundwater contact with specific host rocks.
- The monthly precipitation samples show <sup>18</sup>O-rich sulphate ions, whereas the soil sulphates change in a direction to lower <sup>18</sup>O- and higher <sup>34</sup>S-values with depth. The spring waters and the bedrock dolomites show relatively low  $\delta^{34}\text{S}$ -values (4-9 ‰). Assuming the precipitation samples and the dolomite bedrocks are endmembers the contribution of atmospheric sulphate can be estimated to be 20 % in the spring waters and 10-45 % in the soil samples (Fig. 1).
- The monthly precipitation and total deposition samples show <sup>18</sup>O-rich nitrate ions, whereas the spring waters show variable influence of soil nitrates. Assuming the field of soil nitrification and the precipitation as endmembers an atmospheric contribution of 10-30 % derived from fossil fuel burning and agricultural emissions are calculated (Fig. 2).
- Radiogenic Australian gasoline-lead still dominates with 60-80 % the composition of the trace lead in the spring waters. In addition to the lead leached from the dolomite bedrock a third source contributes about 5-10 %. This second long distance Pb-contribution may originate from coal burning and/or Ag-Pb-ore smelting in Central Europe in the past (Fig. 3).



# Simulation Experiment for Fluid Transport Mechanism in Hyporheic Zone

P. Y. Chou/Guido C. L. Wyseure

Landbeheer en -economie (Afdeling BWB) – Katholieke Universiteit Leuven  
Geo-Instituut, Room 2.234  
Celestijnenlaan 200E  
B3001 Heverlee, Belgium

Exploiting the fluid dynamics at the interface between surface water and subsurface water body receives growing interests in recent years. Many researches have recognized the importance of material and energy exchange between streams and surrounding terrestrial environments; but the significance of groundwater-surface water interaction is less well known (H. M. VALETT *et al.*, 1994), and it is commonly ignored in water-management considerations or policies.

Previous researches have identified that hyporheic zone is an extremely important part of the stream system, which is a hydro-geological unit under and beside the streambed, allows stream water and groundwater to circulate inside the interstitial space at the stream bottom. Hyporheic zone is also an ideal site of biogeochemical hot spot, because where allows chemically distinct hydrological flow paths to converge with each other, and contaminants may undergo attenuation or removal in this zone (P. A. CIRONE & P. B. DUNCAN, 2000).

My study proposes an indoor simulation column model to mimic the hyporheic process, which contains a fixed boundary separating river and saturated section (hyporheic zone), and a dynamic interface separating saturated and unsaturated section (vadose zone). A conventional non-destructive technique, time domain reflectometry (TDR), is applied to precisely monitor the variation of moisture content and for the further analysis. Based on common scenario assumptions, we like to find out the relationship between the hyporheic zone extent and the sudden rising of stream water level when there is a given stable infiltration rate.

Four flux conditions were applied as inflow, distinct soil water contents were created at unsaturated and saturated sections, and hence different transport parameters were performed. We fitted the analytical transfer function of CDE (M.A. MOJID *et al.*, 2004) to the observed BTCs to determine pore water velocity and dispersion coefficient. In the future, we are thinking to implement the experiments with different soil types (loam, clay) and different water sources intake (wastewater).

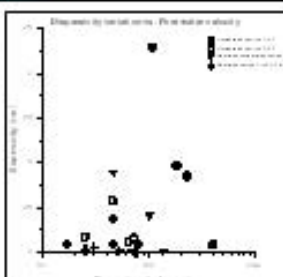
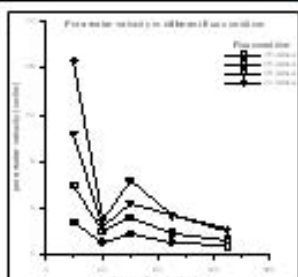
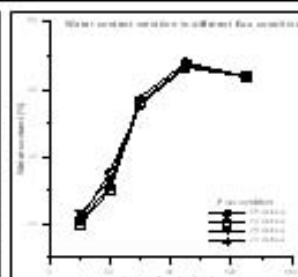
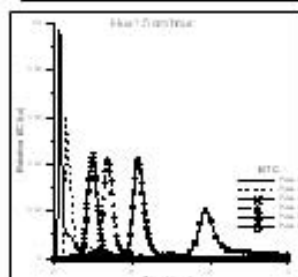
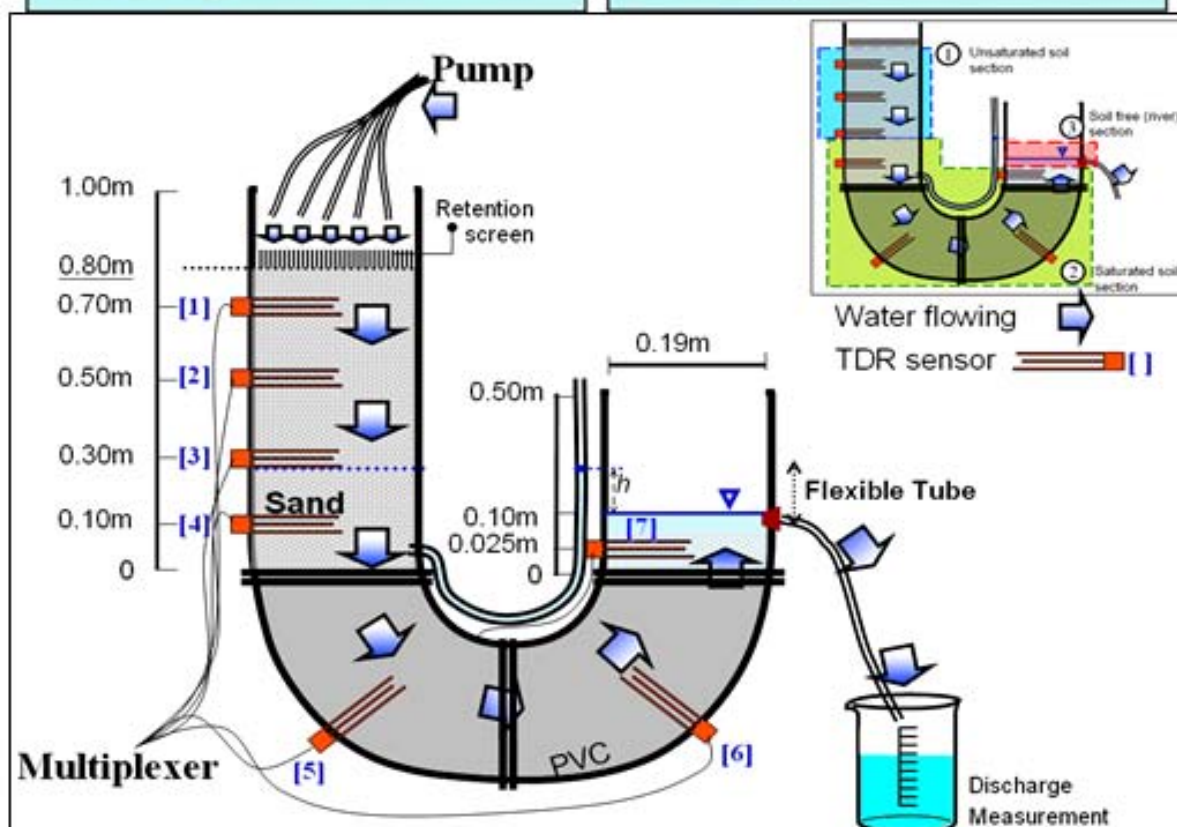
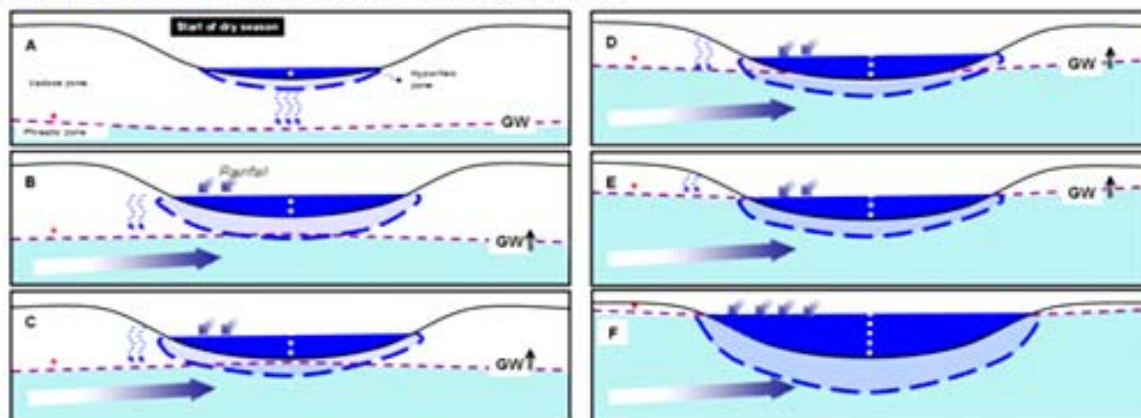
## References

- CIRONE, P. A. & DUNCAN, P. B. (2000): Integrating human health and ecological concerns in risk assessments, *Journal of Hazardous Materials*, 78(1-3), 11
- MOJID, M. A., ROSE, D. A. & WYSEURE, G. C. L. (2004): A transfer-function method for analysing breakthrough data in the time domain of the transport process, *European Journal of Soil Science*, 55, 699-711.
- VALETT, H. M., FISHER, S. G., GRIMM, N. B. & CAMILL, P. (1994): Vertical hydrologic exchange and ecological stability of a desert stream ecosystem, *Ecology*, 75(2), 548-560.



# Simulation experiment for fluid transport mechanism in hyporheic zone

Po Yi CHOU & Guido WYSEURE  
 Department of Land Management and Economics, Katholieke Universiteit Leuven  
 Celestijnenlaan 200 E, B-3001, Heverlee, Belgium



# Using Synthetic Precipitation Time Series for Flow Modelling in the Unsaturated Zone with SiWaPro DSS

Benjamin Nitsch<sup>1</sup> & Oliver Kemmesies<sup>2</sup> & Peter-Wolfgang Gräber<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TU Dresden · Pratzschwitzer Str. 15 · D-01796 Pirna

graeber@rcs.urz.tu-dresden.de · benjamin.nitsch@tu-dresden.de

<sup>2</sup>KP Ingenieurgesellschaft für Wasser und Boden mbH · Bahnhofstr. 37 · D-91710 Gunzenhausen

Oliver.Kemmesies@ibwabo.de

Within the research project “Developing a computer-aided decision support system for leachate prognose”, the “KP Ingenieurgesellschaft für Wasser und Boden” in co-laboration with the Technical University of Dresden is developing a software, SiWaPro DSS, which allows two-dimensional modelling of flow and transport processes within the unsaturated zone.

As a solution to the two-dimensional flow, a problem described by the Richard equation, the atmospheric boundary conditions at the surface, precipitation as well as evapotranspiration, are taken into account. Due to a lack of more detailed information, mean values of water balance variables are often used in practice, which may lead to serious misinterpretations. Recent research shows that in certain cases the shifting of substances within the unsaturated zone is considerably influenced by the variability of precipitation.

However, long-term time series of precipitation with a time solution of one day seldom exist. A weather generator which provides the atmospheric boundary conditions for the flow processes in the unsaturated zone has therefore been developed and implemented into SiWaPro DSS. With the help of this generator, recorded long-term time series of existing meteorological stations can be parameterised and, using stochastic models, synthetic time series for precipitation, temperature, solar radiation, and air humidity can be generated for a certain location.

For testing the weather generator, outdoor lysimeters experiments are consulted. The simulated generation of leachate based on daily recorded measures is then compared with the leachate rates which are based on the stochastically generated daily precipitation values. It will be the aim of further research to find out in how far the amount of leachate is sensitive to certain amounts of precipitation.

Die KP Ingenieurgesellschaft für Wasser und Boden entwickelt in Zusammenarbeit mit der TU Dresden im Rahmen des BMBF- Forschungsprojektes „Entwicklung eines Computergestützten Beratungssystems zur Sickerwasserprognose“ eine Software, SiWaPro DSS, für eine zweidimensionale Modellierung der Strömungs- und Transportprozesse in der ungesättigten Zone. Zur Lösung des zweidimensionalen Strömungsproblems durch die Richardsgleichung gehen an der Bodenoberfläche als atmosphärische Randbedingungen Niederschlag sowie Evapotranspiration in die Berechnung ein. In der ingenieurhydrologischen Praxis werden aus Mangel an detaillierten Informationen oft mittlere Werte der Wasserhaushaltsgrößen verwendet. Dieses Vorgehen kann jedoch zu erheblichen Fehleinschätzungen führen. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Verlagerung von Stoffen in bestimmten Fällen wesentlich durch die Variabilität des Niederschlags geprägt wird.

Häufig fehlen jedoch langjährige Niederschlagszeitreihen mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag. Daher wurde ein Wettergenerator entwickelt und in das Programmsystem SiWaPro DSS implementiert, der die atmosphärischen Randbedingungen für die Strömungsprozesse in der ungesättigten Bodenzone liefert. Mittels des Wettergenerators werden langjährige beobachtete Zeitreihen vorhandener Wetterstationen (z.B. des DWD) parametrisiert und unter Verwendung stochastischer Modelle synthetische Zeitreihen für Niederschlag, Temperatur, Sonneneinstrahlung und Luftfeuchte für einen speziellen Standort erstellt.

Zum Test des Wettergenerators werden Großlysimeterversuche herangezogen, die im Freiland durchgeführt wurden. Die auf Basis der täglich aufgezeichneten Messgrößen simulierte Sickerwasserbildung wird mit den Sickerwasserraten verglichen, denen als Eingangsdaten die stochastisch erzeugten, täglichen Niederschlagswerte zugrunde liegen. Inwieweit die Sickerwassermengen auf bestimmte Niederschlagshöhen sensitiv reagieren, wird im weiteren Verlauf der Untersuchungen ergründet.





## SiWaPro DSS – Computer based consulting system for leachate prognoses

### Problem definition

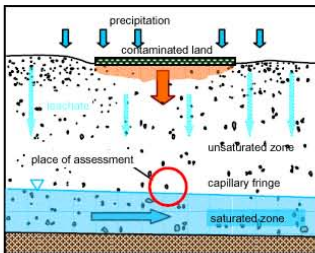


Fig. 1: danger of pollutant – input by the leachate into the groundwater

#### Definition leachate prognosis

(§2, Abs. 5 BBodschV):

Estimation of the pollutant entry by the leachate into the groundwater, that comes from potentially contaminated areas, harmful soil modifications or contaminated land or that can be expected in near future under consideration of concentrations and yields and based on the transition zone between unsaturated and saturated zone.

### Advantages of the model based leachate prognoses with SiWaPro DSS:

- easily operated Windows Software
- German input mask
- easy output presentation by the use of interfaces to graphic programs (Fig. 2)
- flexible choice of boundary conditions
- interface to GeoDin database
- consideration of hysteresis in the unsaturated zone
- implemented parameter identification algorithm

### Theoretical bases

The mathematical description of the processes in the unsaturated zone is realized by partial differential equations.

**Flow processes:** Richards Equation

$$\frac{\partial}{\partial z} [k(\theta) \left( \frac{\partial \theta}{\partial z} + 1 \right)] = \frac{\partial \theta}{\partial t} - w_0 \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = C(h_c) \frac{\partial h_p}{\partial t}$$

$\theta$	volumetric water content	$h_p$	pressure head ( $h_c = -h_p$ )
$t$	time	$w_0$	source/sink term
$z$	spatial coordinate	$C(h_c)$	capillary capacity function
$k(\theta)$	unsaturated hydraulic conductivity		

**Solute transport:** Convection-Dispersion-Equation

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( D \frac{\partial s_{l,m}}{\partial r} \right) - \frac{\partial (u \cdot s_{l,m})}{\partial r} = \frac{\partial s_{l,m}}{\partial t} + \mu_m \cdot s_{l,m} + \gamma_m \cdot \theta - q_m$$

$r$	spatial coordinate	$\mu_m, \gamma_m$	0 and 1. order degradation coefficient
$D$	dispersion coefficient	$u$	mean flux
$s_{l,m}, s_{s,m}$	specific mass in the liquid and/or solid phase		

### Problems with variables of water balance

The estimation of the pollutant entry mostly requires knowledge about the input quantities of the soil water balance, which by means of the water balance equation is closely connected with the atmospheric conditions of a location. Due to a lack of more detailed information, mean values of water balance variables are often used in practice.

**This may lead to serious misinterpretations!**

Recent research shows that in certain cases the shifting of substances within the unsaturated zone is considerably influenced by the variability of precipitation.

### Implementation of a weather generator in SiWaPro DSS

- Generating synthetic time series for precipitation, temperature, and evapotranspiration with a time solution of one day for any given location
- Parametrising the generator according to existing recorded time series of surrounding meteorological stations
- Integration of further models concerning plant root uptake, snow storage and interception through plants

**SiWaPro DSS with an implemented weather generator allows transient calculation of flow, taking into account atmospheric boundary conditions, plant root uptake, and soil evaporation**

### Configuration and features of the program

- Computation of the two dimensional vertical plane as well as rotationally symmetric flow and transportation processes including the degradation and sorption processes in the view of the unsaturated and saturated zone
- Based on the simulation program SWMS\_2D from the HYDRUS-family
- Automatic discretization by means of FE- net generator (Fig. 3)
- User surface with smooth language adjustment
- Inclusion of existing specialized information systems (layer survey programs as well as soil- and material databases)

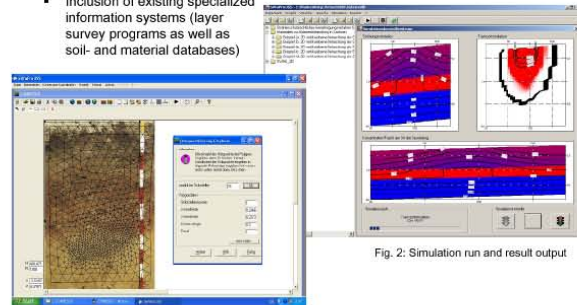


Fig. 2: Simulation run and result output

Fig. 3: Discretization mesh

### Domains of SiWaPro DSS

#### Application for:

- estimation of pollution potential
- effectiveness analyses for plant optimization

#### Within the fields:

- clean up operation (leachate prognosis)
- disposal sealing systems
- capillary barriers
- mining
- agriculture

### Examples of use:

#### Leachate prognosis for:

- risk assessment of contaminated land, old waste deposits for the subject of protection "groundwater"
- evaluation of treated materials in order to authorize their re-use (Fig. 5)

- **Design and efficiency analyses of disposal sealings:**
- proof of the hydraulic effectiveness of capillary barriers

Supported by:



# The Influence of Acidification on the Content of Nutrients Active Form in Soil, in a Simple Model Experiment

Piotr Skowron

Agriculture University in Lublin  
Department of Agricultural and Environmental Chemistry  
Akademicka 15, 20-950 Lublin – Poland  
tel: +48 81 4456995, e-mail [piotr.skowron@ar.lublin.pl](mailto:piotr.skowron@ar.lublin.pl)

The effects of soil acidification on the content of nutrients active form (N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, P-PO<sub>4</sub>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) in soil, was studied in a laboratory experiment. The soil samples were taken from 0-20 cm depth, from four different soils. The experimental unit was 250 g of soil samples in a plastic cup. Different values of pH, which are occurring in Polish soils (pH: 3.5 – 7.5), were simulated in these samples. The simulation of the pH was carried out by the addition of NaOH and HCl, as well as by maintaining a 60% full water volume for six months. After incubation, single-time nutrients extraction was carried out by a one-hour agitation of the soil material with redistilled water, at a ratio of 1 to 10 (soil to water). The soil-water mixture was filtered under pressure; and the contents of N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, were measured in the received solution.

The content of the selected nutrients active form was compared between soils with diversified pH. The assumption was that the nutrient active form is most sensitive on leaching in the case of adequate water flow through the soil profile. The content of N-NO<sub>3</sub> in the soil was decreased significantly, as acidification increased and these values were a few times lower at 3.5 than at pH 7.5. In contrast, the content of N-NH<sub>4</sub> was increased at the same time. It was probably connected with the limitation of nitrification efficiency, which is conducted by autotrophic bacteria (R. J. HAYNES & R. S. SWIFT, 1986, and A. D. ROBSON & L. K. ABBOTT, 1989). The maximum contents of N-NH<sub>4</sub>, K, Ca, Mg, Zn, were extracted from pH 3.5 treatments; however, minimum contents were extracted from pH 7.5 treatments. There is probably the mechanics of exchangeable cations (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) displacing from sorption complex by H<sup>+</sup> and Al<sup>3+</sup> ions, which have a higher entry energy to sorption complex (R. J. HAYNES & R. S. SWIFT, 1986). Decomposition of aluminium silicate minerals as well as a reduction of sorption complex capacity is due to acidification. This also includes a reduction in the organic matter sorption capacity; owing to the dissociation of humic acid function groups, and has a great importance as previously stated, according to K. W. T. GOULDING & L. BLAKE (1998) and H. HARTIKAINEN (1996). The highest content of P-PO<sub>4</sub> in the soil was noticed in pH 6 and 7 treatments; and was probably caused by phosphorus immobilisation to insoluble compounds at pH 5.5 above. (T. M. ADDISCOTT & D. THOMAS, 2000)

## References

- ADDISCOTT T. M. & D. THOMAS (2000): Tillage, mineralization and leaching: phosphate. – *Soil & Tillage*, 53, 255-273.
- GOULDING K. W. T. & L. BLAKE (1988): Land use, liming, and the mobilisation of potentially toxic metals. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 67, 135-144.
- HARTIKAINEN H. (1996): Soil response to acid percolation: acid – base buffering and cation leaching. – *J. Environ. Qual.*, 25, 638-645.
- HAYNES R. J. & R. S. SWIFT (1986): Effects of soil acidification and subsequent leaching on levels of extractable nutrients of soil. – *Plant and Soil*, 95, 327-336.
- ROBSON A. D. & L. K. ABBOTT (1989): The effect of soil acidity on microbial activity in soils. – In: ROBSON A. D. (Eds., 1989): *Soil acidity and plant growth*. – 139-166 (Academic Press).

Piotr Skowron

## INFLUENCE OF ACIDIFICATION ON THE CONTENT OF NUTRIENTS ACTIVE FORM IN SOIL IN SIMPLE MODEL EXPERIMENT

### Aim, Material and Methods

The effect of soil acidification on the content of nutrients active form (N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, P-PO<sub>4</sub>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) in soil, was studied in a simple laboratory experiment (Fot. 1).

For the experiment, 4 kg total weight average soil samples were taken from 0-20 cm layout from 4 different soils. A soil material was sifted through a plastic sieve with a mesh size of 1 mm. The experimental unit was 250 g of soil sample in a plastic cup (Fot. 2). Different values of pH, which are occurring in Polish soils (pH: 3.5 - 7.5), were simulated in these samples. Simulation of the pH was carried out by the addition of NaOH (1 mol · dm<sup>-3</sup>) and HCl (1 mol · dm<sup>-3</sup> and 0.1 mol · dm<sup>-3</sup>), as well as by maintaining a 60% full water volume for 6 months. Proper amounts of sodium hydroxide and hydrochloric acid were determined by buffer capacity of the soil. After incubation, under room conditions with a temperature of 20°C, single-time nutrients extraction was carried out by a 1 hour agitation of the soil material with redistilled water, at a ratio of 1 to 10 (soil to water). The soil-water mixture was filtered under pressure and the contents of N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> were measured in the received solution. Nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and phosphorus analyses were carried out by the colorimetric method. The contents of calcium, potassium and magnesium were determined by using the F-AAS method. The contents of zinc were determined by using the ET-AAS method. Laboratory experiment results were statistically worked out by analysis of variance double classification method with Tukey's confidence semi ranges. Values of pH were calculated in advance to hydrogen ions concentration in the water-soil suspension. The relationships between the hydrogen ions concentration in the water-soil suspension and nutrients active form concentration in soil, were estimated as simple correlation method and linear regression analysis.

The content of the selected nutrients active form was compared between soils with diversified pH. The assumption was that, the nutrient active form is most sensitive on leaching in the case of adequate water flow through the soil profile

### Conclusions

1. Soil acidification clearly influences on the nutrients mobility in the laboratory experiment, where it was eliminated or standardized due to the impact of other environmental factors.
2. The content of nitrate nitrogen in the soil was decreased significantly as acidification increased, probably as a result of nitrification limitation efficiency which is conducted by autotrophic bacteria.
3. The content of N-NH<sub>4</sub>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> was increased as soil acidification increased. It was probably connected with mechanics of exchangeable cations displacing from sorption complex by H<sup>+</sup> and Al<sup>3+</sup> ions, reduction of sorption complex capacity and organic matter sorption capacity due to the acidification.
4. Influence of acidification on the phosphorus mobility in soil was not significant as for the others nutrients. But low P-PO<sub>4</sub> content under pH 5.5 could be effect of phosphorus immobilisation to insoluble compounds with Al and Mn.

### Summary

The effect of soil acidification on the content of nutrients active form (N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, P-PO<sub>4</sub>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) in soil, was studied in a simple laboratory experiment, which included a soil material from 4 different soils. Different pH values which are occurring in Polish soils (pH: 3.5; 4.0; 5.0; 6.0; 7.0; 7.5), were simulated by the addition of particular volumes NaOH or HCl according to buffer capacity of the soil. 60% of field water volume was maintained for 6 months. Extraction of basic micro- and macronutrients was carried out with redistilled water after their incubation. Soil - water mixture was filtered under pressure and after that the contents of nutrients active forms were measured in received solution. It was found that acidification of the soil influenced the contents of some nutrients active forms. These forms are susceptible to leaching in case of water flowing through soil profile.



Fot. 1. The laboratory experiment (2001).



Fot. 2. The plastic cup with soil sample closed by PARAFILM M in the laboratory experiment (2001).

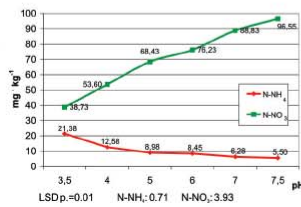


Fig. 1. Average content of nutrients active form (N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>) in soils.

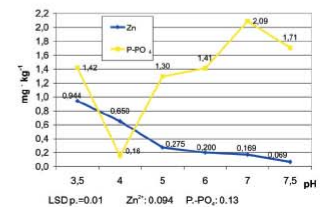


Fig. 2. Average content of nutrients active form (Zn<sup>2+</sup>, P-PO<sub>4</sub>) in soils.

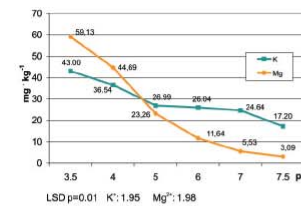


Fig. 3. Average content of nutrients active form (K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) in soils.

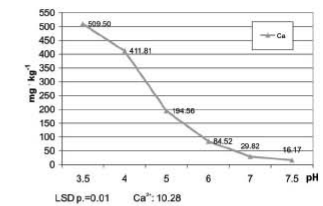


Fig. 4. Average content of nutrients active form (Ca<sup>2+</sup>) in soils.

Coefficient	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Zn
R	0.5802**	-0.7187**	-0.0553	0.4351*	0.8585**	0.7319**	0.6843**
B	42.404	-147.952	-0.989	73.4488	1494.61	176.104	2.5107

\* Significant at p = 0.05 \*\* Significant at p = 0.01

Tab. 2. Correlation R and regression B coefficients relationship of Y = BX + C between pH converted to hydrogen ion concentration H<sup>+</sup> in the soil suspension (X) [mmol H<sup>+</sup> · kg<sup>-1</sup>] and content active form of nutrients in soil (Y) [mg · kg<sup>-1</sup>].

Piotr Skowron

Department of Agricultural and Environmental Chemistry

Agriculture University, 20-950 Lublin, Akademicka 15, Poland

tel.: +48 81 4456995, e-mail: piotr.skowron@ar.lublin.pl

# Uncertainty at the Practical Application of Numeric Models for Large Scale Diffuse Transport

Th. Reimann\*, Ch. Konrad\*, W. Walther\*\*

\* TU Dresden  
Institute for Groundwater Management  
01062 Dresden - Germany  
Thomas.Reimann@tu-dresden.de

\*\* Wasser.Fall  
Rolandstrasse 41  
31137 Hildesheim - Germany  
walther.hildesheim@t-online.de

Durch die Intensivierung der Landwirtschaft wurden mit Beginn der 1960'er Jahre erhöhte Mengen von Makronährstoffen in die Grundwasserleiter eingetragen. Aufgrund dieser diffusen Belastung zeigen Vorfeldmessstellen in Trinkwasser-Einzugsgebieten zum Teil deutlich erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser. Für Wasserversorger sind folgende Fragestellungen bedeutend:

- Zukünftige Beschaffenheit des Rohwassers?
- Welche Flächen im Einzugsgebiet haben besonderen Einfluss auf die Rohwasserbeschaffenheit – wo ist eine veränderte Landnutzung am wirkungsvollsten?

Um diese Fragen zu beantworten, können numerische Transportmodelle eingesetzt werden, die hauptsächlich für Fragestellungen im Altlastenbereich entwickelt wurden. Bei der Transportberechnung für Nährstoffe aus diffusen Quellen ergeben sich Unsicherheiten (SCHÄFER 1999), wie:

- veränderte Zeit- und Raum-Skala (Zeitraum Jahrzehnte, Transportweg Kilometer).
- hydraulisches Modell ist im Einzugsgebietsmaßstab nicht eindeutig,
- Stoffeintrag für weit zurück liegende Zeiträume meist nicht rekonstruierbar,
- numerische Einflüsse (Rechenalgorithmus, Diskretisierung, numerische Dispersion)
- fließwegabhängige Dispersion und
- unbekannte räumliche Verteilung des Umsatzpotentials sowie Lebensdauer der Umsatzprozesse (KONRAD 2007).

Die Unsicherheiten werden anhand eines schematischen Modellgebietes erläutert. Damit kann analysiert werden, wie sich eine Variation der Modellparameter auf die berechnete Nitratkonzentration im Förderbrunnen auswirkt. Abschließend werden einige Ansätze dargestellt, mit denen die Unsicherheiten reduziert werden können.

## Literatur

- SCHÄFER, W. (1999): Numerische Modellierung des reaktiven Nitrattransportes im Grundwasser - Stand der Modellentwicklung. Mitteilungen des Instituts für Grundwasserwirtschaft der Technischen Universität Dresden, Heft 2, S.: 201-213.
- KONRAD, C. (2007): Identifikation des Umsatzes von Stickstoff in drei pleistozänen Aquiferen Norddeutschlands auf der Grundlage von Studien im Labor und im Gelände. Dissertation Technische Universität Dresden.



# UNCERTAINTY AT THE PRACTICAL APPLICATION OF NUMERICAL MODELS FOR LARGE SCALE DIFFUSE TRANSPORT

Reimann, Thomas<sup>1,\*</sup>; Konrad, Christian<sup>1</sup>; Walther, Wolfgang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inst. for Groundwater Management, TU Dresden; \* Thomas.Reimann@tu-dresden.de

<sup>2</sup> Rolandstrasse 41, 31137 Hildesheim (formerly Inst. for Groundwater Management, TU Dresden)

## Problem

Due to increased agricultural activities at the beginning 1960s an enhanced amount of nutrients entered the aquifers. As a result of this diffuse pollution various observation wells indicate significantly enhanced nitrate concentrations in the groundwater. The nitrate concentration in the groundwater is still below the critical concentration for drinking water (in Germany 50 mg L<sup>-1</sup>) because of nitrate metabolism (Denitrification). For management and planning purposes the water authorities are interested in the future water quality. To answer this question numerical transport models can be used. In most cases these numerical transport models were developed for problems in the area of point source pollution (abandoned polluted areas; see Table 1) and parameters were also obtained for this scenario. Therefore, the numerically calculated concentrations for pollution from diffuse sources are uncertain.

Table 1: Comparison between point source pollution and diffuse pollution (after Schäfer 1999)

	Point source pollution	Diffuse pollution
spatial dimension	range of meters	range of kilometers
duration time in the aquifer	days	years
groundwater hydraulics	in general well known	roughly known, not definitely
input of substances	mostly comprehensible	spatial and temporal allocation barely known
monitoring network	commonly dense, vertical differentiation	incomplete, no vertical differentiation

## Overview of uncertainties

Uncertainties in the field of large scale transport models for diffuse pollutions are caused by different factors, e.g.

- (1) enhanced influence of numerical effects (e.g. numerical dispersion).
- (2) dependence of dispersion on the transport path.
- (3) unknown extent and spatial allocation of turnover/ degradation potential.
- (4) rudimental information about boundary conditions like past input of substances.

The effects of these uncertainties on the calculated concentrations are shown for a schematic / synthetic model area (Fig. 1). For this purpose, a numerical 2D groundwater flow and transport model is used, which is supposed to reflect real aquifer systems.

## Some Perspectives

### (1) Numerical Uncertainties

- Different criteria have to be considered to achieve a correct solution, e.g. Peckel criterion resulting in a very fine spatial/ temporal discretisation.
- The TVD-method seems suitable to solve the transport equation for large scale models linked with diffuse pollution.

### (2) Dispersion

- Because dispersion depends on spatial scale (transport distance) an estimation regarding the proper transport length is needed. An approach is to take 1/3 of the maximum length.
- Values from the literature are rare for the considered spatial scale – if available, field information (tracer tests) should be taken into account.
- With advanced exploration / parameterisation a more detailed representation of advective spreading is possible and therefore, dispersion can be reduced.
- Calculate with possible ranges of dispersivity values.

### (3) Degradation potential

- Field and laboratory tests are useful to analyze the degradation potential.
- Different spatial allocation of the degradation potential can be considered by different „realizations“, generated e.g. by stochastic parameterisations.

## Results of sensitivity studies

Parametrisation of the fictitious catchment:

- Extent:  $x = 5000$  m,  $z = 50$  m
- Hydraulic conductivity:  $K = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m a}^{-1}$
- Land use: agriculture / forest with different recharge / input
- Time: 100 years beginning with 1950

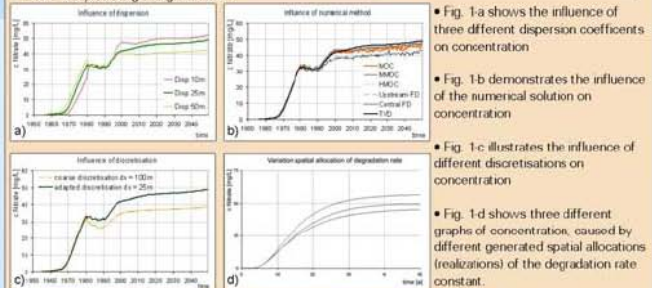


Fig. 1 a-d: Results for different scenarios a) impact of dispersion, b) calculation with different numerical methods, c) influence of discretisation, d) variation of degradation potential

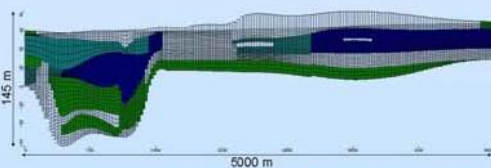


Fig. 2: Example for a transport model which considers diffuse pollution (different colours characterize several geological units)

References  
 Schäfer, W. (1999): Numerische Modellierung des reaktiven Nitrattransportes im Grundwasser - Stand der Modelentwicklung. Mitteilungen des Instituts für Grundwasserwirtschaft der Technischen Universität Dresden, Issue 2, pp. 201-213.  
 Konrad, Ch. (2007): Identifikation des Umsatzes von Stickstoff in drei pleistozänen Aquiferen Norddeutschlands auf der Grundlage von Studien im Labor und im Gelände. Dissertation Technische Universität Dresden.

# STICS – Parameterizing and Behaviour of a SVAT-Model

A. Heuer/M. Casper

UNIVERSITÄT TRIER  
Fachbereich VI  
Physische Geographie  
Behringstraße 21  
D-54286 Trier – Germany

STICS (Simulateur Multidisciplinaire pour les Cultures Standards) is a SVAT-model developed by INRA, France. It is a deterministic model organised in different modules, each modul composed of sub-modules dealing with specific sub-processes. According to N. BRISSON et al. (2003) it is a daily time-step crop model with input variables relating to climate, soil, plant and crop management. STICS simulates the behaviour of the soil-crop system over one or several crops as well as soil water and nitrogen balances, driven by daily climatic data. STICS is adaptable to a broad number of crops and even crop varieties, which makes it possible to apply the model to a large number of given situations. In reality, the specific and detailed data are often rather restricted. This concerns model specific data, fundamental for running a simulation, as well as key variables, essential for calibrating the model and validating the model results. Thus, parameterising the model has to be carried out carefully. This is confirmed by empirical sensitivity studies, too.

For the soil module the variables relate to the surface horizon of soil, the full soil profile, each horizon and the initialisation of soil profile. Parameterizing the model, the horizons are modified according to the amount and type of the stones. The type of stone is characterised by their specific bulk density and stone water holding capacity. These properties can influence the total water holding capacity of the profile. Parameterizing the fertiliser sub-module, STICS offers the possibility to specify the type of fertiliser, the amount of applied fertiliser and the dates of applying it. As regards the organic supplies, decomposition parameters are calculated for different organic residue categories (see N. Brisson et al., 2003). Besides the date and the amount of applied fresh matter the model expects an indication of C-ratio, C/N-ratio, mineral nitrogen and water content of the organic fertiliser. This makes it possible to quote each composition exactly.

The sensitivity of specific parameters of the model STICS is first demonstrated by the simulation of a crop rotation, where only the type of stones (see above) were modified in realistic ranges. As expected, the depth of the root system and the amount of dry matter rise with decreasing stone bulk densities and increasing stone water holding capacities. But, for specific stone bulk densities the depth of the root system behaves nearly similarly unattached of a spreading stone water holding capacity. In addition, the crop systems colza, winter barley and winter wheat react differently to the given situation. Second, results of longtime simulations (grain maize) are presented. The test sides belong to one climatic region, but differ in soil type. For every soil type the longtime simulation is done three times, reducing the total amount of applied fertiliser; this causes a reduction of yield as well as nitrate-leaching. This affects all simulated soils, but differs in the total amount of yield/ nitrate-leaching. Every soil type reacts more or less sensitive to the climatic variability within the simulation period of 17 years. This affects the range of yield as well as nitrate-leaching.

## References

- BRISSON, N., C. GARY, E. JUSTES, R. ROCHE, B. MARY, D. RIPOCHE, D. ZIMMER, J. SIERRA, P. BERTUZZI, P. BURGER, F. BUSSIÈRE, Y.M. CABIDOCHÉ, P. CELLIER, P. DEBAEKE, J.P. GAUDILLÈRE, F. MARAUX, F.B. SEGUIN, H. SINOQUET (2003): An overview of the crop model STICS. In: *European Journal of Agronomy* 18, 309-332.

# STICS – parameterizing and behaviour of a SVAT-model

## 1 Aims

According to their particular conception, Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer (SVAT) models are used to simulate matter cycling and water fluxes in a complex system of soil, plant and atmosphere continuum. Our main focus of interest lies on two subjects:

- (A) **Complexity by parameterizing the model STICS**, shown by the parameters "stone fraction" and "fertiliser"
- (B) **Behaviour of the model STICS**, shown by the sensitivity of specific parameters.

## 2 Model

STICS (Simulateur Multidisciplinaire pour les Cultures Standards) is a SVAT-model developed by INRA, France. STICS simulates the behaviour of the soil-crop system over one or several crops as well as soil water and nitrogen balances, driven by daily climatic data. Thus, it calculates both, agricultural and environmental variables.

STICS is organised into different modules, with each modul composed of sub-modules dealing with specific processes, as shown in figures 1 and 2 (1).

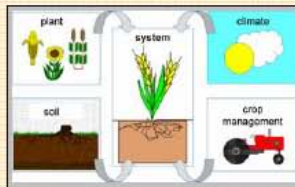


Fig. 1: The modular concept of the SVAT-model STICS

The processes that can be simulated with STICS relate to:

Phenology	i. the ecophysiology of aboveground plant parts
Shoot growth	ii. the soil functions in interaction with underground plant parts
Yield formation	
Crop management	iii. the interaction between the applied techniques and the soil-crop system
Microclimate	
Root growth	
Water balance	Water, nitrogen and temperature transfers
Nitrogen balance	

Fig. 2: Simulation processes of the SVAT-model STICS

One of the model's key elements is the adaptability to a broad number of crops and even crop varieties. The high applicability also implies a limitation of the model: the specific and detailed data are often rather restricted.

## 3.1 Parameterizing STICS: stone fraction

The soil module implies information about the surface horizon of soil (e.g. organic nitrogen content), the full soil profile (e.g. depth of an obstacle to rooting) and properties of each horizon, like field capacity, bulk density, stone content and - the type of stones.

So, the stone fraction modifies the features of the horizons not only according to the amount of stones [% volumetric], but also according to their specific stone bulk density [g/cm<sup>3</sup>] and stone water holding capacity [% weight].

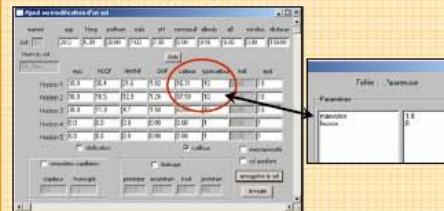


Fig. 3: The stone fraction according to the soil module and the additional information about the stone bulk density and the stone water holding capacity for stones of type „10“

## 3.2 Parameterizing STICS: fertiliser

As regards the organic supplies, decomposition parameters are calculated for different organic residue categories, such as crop residues, manure, compost, sludge, etc. (Brisson et al., 2003)(1). Besides the date („jour“) and the amount of applied fresh matter („qres“) the model expects an indication of C-ratio („Cres“), C/N-ratio („C/N“), mineral nitrogen („Nminres“) and water content („e\_aures“) of the organic fertiliser. This makes it possible to quote each composition exactly, provided that the amount of nitrogen [kgN/ha] is converted correctly into the amount of applied fresh matter [t FM/ha].

date	probs	profr	cedres	qres	Ces	C/N	Nminres	eaures
100	0	10	0	40	25	18	0.1	94
440	0	10	0	30	25	18	0.1	94
574	0	10	0	30	25	18	0.1	94

Fig. 4: Tillage and incorporation of organic residues/fertiliser

References:  
(1)Brisson, N., C. Gary, E. Justes, R. Roche, B. Mary, D. Ripoche, D. Zimmer, J. Sierro, P. Bertuzzi, P. Burger, F. Bascurin, Y.M. Cabidoche, P. Cellier, P. Debussche, J.P. Claudin, F. Maraux, F.B. Seguin, H. Sinoulet (2003): An overview of the crop model STICS. In: European Journal of Agronomy 18, 303-352.  
(2)Brisson, N., Penier A. (1991) A semi-empirical model of bare soil evaporation for crop simulation models. In: Water Resources Research 27, 710-727.  
(3)Ritchie, J.T. (1972). In: Water Resources Research 8, 1204-1219.

## 4 Parameter Sensitivity and Discussion

### 4.1 Stone Fraction

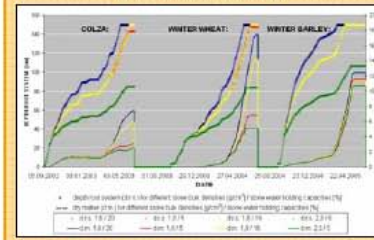


Fig. 5: the effect of varying stone bulk density and stone water holding capacity to dry matter (d.m.) and depth of the root system (d.r.s.)

Figure 6 demonstrates the results of longtime simulations (17 years). The test sides all belong to one climatic region, but differ in soil type (I to V). For every soil type the longtime simulation is run three times, reducing the total amount of applied fertiliser (a,b,c).

The reduction of fertilizer stands for the reduction of yield as well as for nitrate-leaching. This affects all simulated soils, even though there are broad differences in the total amount of yield / nitrate-leaching.

Further more, every soil type reacts different (more or less sensitive) to the climatic variability within the simulation period of 17 years. This does not only affect the range of yield but also of nitrate-leaching.

### 4.3 Evaporation value

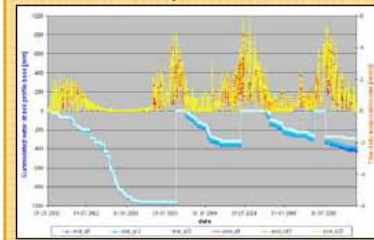


Fig. 7: effects of changing the evaporation value to cumulated water at soil profile base and true daily evaporation rate

Figure 5 shows the simulation of a crop rotation. In the simulation only the type of stones, were modified in realistic ranges.

As expected, the depth of the root system (d.r.s.) and the amount of dry matter (d.m.) rise with decreasing stone bulk densities and increasing stone water holding capacities.

Interesting is the fact, that for a stone bulk density of 1,8 g/cm<sup>3</sup> the depth of the root system behaves similarly unattached of the stone water holding capacity ranging from 5% to 16%. Interesting also, that each crop system reacts different to the given situation: the dry matter of winter barley hardly varies, whereas for winter wheat the amount of dry matter duplicates.

### 4.2 Yield and nitrate leaching

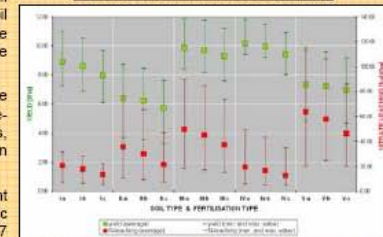


Fig. 6: variability of yield and nitrate leaching for grain maize with different soil and fertilisation types

Different approaches can be chosen to estimate the parameter of evaporation value at the end of the maximum evaporation stage (q0 [mm]). According to N. Brisson & A. Perrier (1991) and J.T. Ritchie (1972), the values for the given soil texture range from q=9 to q=22.

Figure 7 demonstrates the results of this range regarding cumulated water at soil profile base and true daily evaporation rate: the higher q0, the less water reaches the soil base. In this example, the total difference rises up to +/- 100 mm. Respectively, the higher q0, the more water becomes evaporated.





# Water Level Fluctuation Induced Groundwater Pollution in a Poldered Peatland (Spreewald, Eastern Germany)

Oliver Gabriel<sup>1</sup>, Thomas Kalettka<sup>2</sup>, Dagmar Balla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vienna University of Technology  
Institute for Water Quality  
Karlsplatz 13/2261  
A-1040 Vienna – Austria

<sup>2</sup>Leibniz Centre for Agriculture Landscape Research  
Institute for Hydrology  
Eberswalder Straße 84  
15374 Müncheberg

In the Spreewald region, a cultivated, mining-influenced riverine wetland situated in one of the most driest parts of Germany, large polder areas constructed in the early 70's are presently used for extensive livestock farming and water storage. Wire regulation of the ditch system leads to increasing groundwater levels during wintertime with inundation of the topographically lower parts, while decreasing groundwater levels during summer due to high rates of evapotranspiration result in an aeration of the heavily loaded peat soils as well as in a shift of hydraulic conditions.

Investigations in the peat soil porewater at a periodically inundated 55 ha testfield situated between two main ditches underline, that groundwater level fluctuations induce intensive matter dynamics. Significant concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Fe}^{2+}$  are mobilised, probably by pyrite oxidation, while high concentrations of DOC stem from mineralisation processes. Mobility of SRP is significantly dominated by the availability of  $\text{FeOOH}$  as binding sites and thus increases with duration of flooding.

In the centre plain shallow groundwater Cl and  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations significantly increase during low groundwater levels and decrease during winter caused by dilution effects from seeping inundation water. After flooding DOC and SRP concentrations in the shallow groundwater increase demonstrating a reduced microbial turnover at anaerobic conditions and seeping of former mineralised organic matter while peat soil phosphorus shows increasing mobility due to the redox system, shifting from aerobic to anaerobic conditions. Phases of aeration at low groundwater levels result in a significant decrease of DOC and SRP.

However, SRP mobility is most dynamic in the ditch near groundwater influenced by hydraulic conditions and release from the sediments (at infiltrating conditions) extremely rich in iron and phosphorus.

To evaluate the influence of the hydraulic conditions on the ditch near groundwater along two groundwater transects two quasi 2D-transient groundwater models using Visual MODFLOW are established, assessing a third order (Cauchy) condition for the ditches equipped with automatic data logger. Calibration is performed with groundwater level data (automatic data logger) from the middle of the plain. Leakage rates from groundwater modeling are used to balance matter release from groundwater for one year.

Results imply that in the 2001 DOC is significantly released from the topographical higher parts of the polder due to high rates of exfiltrating groundwater (release of  $72 \text{ g DOC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ). In the lower temporally flooded parts DOC is retained (retention of  $36 \text{ g DOC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ) due to infiltrating conditions being dominant. Over the year 2001 SRP is potentially released by groundwater at both transects ( $3,1 \text{ g SRP m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  at transect A to  $13,0 \text{ g SRP m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  at transect B). However, precipitation with  $\text{FeOOH}$  at the sediment-surface water transition zone reduces SRP release to the ditch water to  $0,3$  and  $2,0 \text{ g SRP m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ .

Results from the testfield underline that both, matter mobilisation processes from the transformed peat soils to the shallow groundwater as well as release from the groundwater to the surface water system can be minimized by reducing groundwater level fluctuations and implementing a high groundwater level in general. Phosphorus release from the peat in this system is of secondary importance because mobilisation is mainly controlled by hydraulic conditions and the sediments.

# Water level fluctuation induced groundwater pollution in a poldered peatland (Spreewald, Eastern Germany)

Oliver Gabriel<sup>1</sup>, Thomas Kalettka<sup>2</sup>, Dagmar Balla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vienna University of Technology, Institute for Water Quality, Vienna, Austria

<sup>2</sup>Leibniz Centre for Agriculture Landscape Research, Müncheberg, Germany



## Scope

Although water quality of the river Spree improved in the last two decades, phosphorus loads emitted by WWTP's and from groundwater as well as temporal oxygen depletion due to a high organic content remain serious problems in the middle and lower course of the river Spree.

In dependency of the hydrological conditions the Spreewald region, a riverine wetland in the middle course of the Spree, is a potential sink or a source for phosphorus or total and dissolved organic carbon.

Investigations on a testfield, characterised by changing hydraulic conditions and peat soils should demonstrate under which conditions phosphorus and DOC are released to the surface water.

Focus of this poster is laid on an approach, combining mobilisation and transport processes in the soil-groundwater system as well as in the groundwater-surface water system.

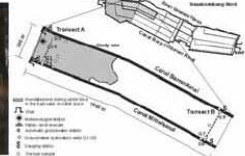
## Hydraulic conditions



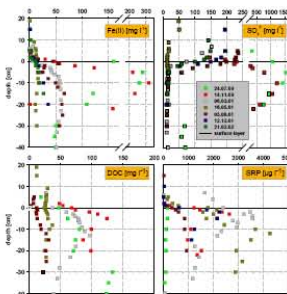
In the main ditch of a poldered area seasonal water fluctuations result in different hydraulic conditions with flooding of the lower elevated areas and a shift from exfiltrating conditions during winter to infiltrating conditions at summer.

## Area under investigation

The field investigations were performed in the Spreewald wetland/ State of Brandenburg, Germany (precipitation 530 mm/a, evapotranspiration 610 mm/a). The experimental site (55 ha) is a former Polder area, which was drained by pumping during vegetation time. After breakdown of intensive land use, the water regime is controlled by inlet and outlet sluices. Investigations are based on a two year monitoring of water, sediment, soils, porewater and groundwater.

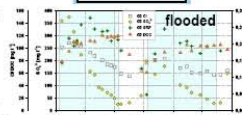


## Peat soil porewater profiles



Matter mobilisation from organic rich peat soils appears mainly in the first 20 -30 cm and is related to the hydrological situation. Long phases of aeration lead to pyrite oxidation with mobilisation of  $\text{SO}_4^{2-}$  and Fe, as well as DOC due to mineralization processes (summer-autumn). SRP mobilisation increased with duration of flooding (loss of  $\text{FeOOH}$  as binding sites).

## Seepage



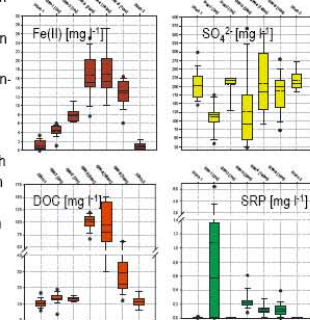
Flooding results in decreasing concentrations of the shallow groundwater (2m) by dilution effects ( $\text{SO}_4^{2-}$ , Cl, SRP). In the early time of flooding SRP increases due to mobilisation from the soils at anaerobic conditions. DOC mobilised by mineralisation increases and remains stable, dropping when soils getting oxic.

## Impact on shallow groundwater

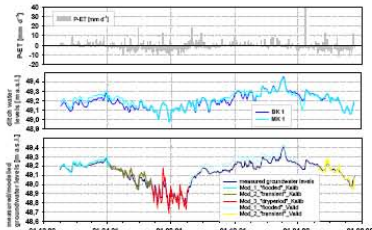
The spatial distribution of Fe(II),  $\text{SO}_4^{2-}$ , and DOC concentrations in the shallow groundwater underlines the increasing influence of seepage and decreasing influence of infiltrating ditch water with growing distance from the ditches.

It implies the pollution potential of seasonal flooded peat soils.

In the ditch near groundwater SRP increases during intensive infiltration, mobilised from the P rich ditch sediments.



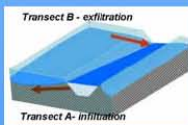
## Groundwater modelling



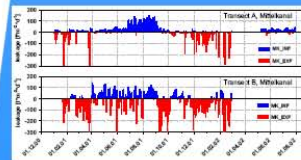
2D transient groundwater modelling is performed with Visual MODFLOW. 3 different Model-adaptions are developed to consider site specific conditions:

1. „dry period“ (2 layer model, considering high rates of evapotranspiration by increasing evapotranspiration depth to 0.6m)
2. „transient“ (2 layer model, considering a period with variable evapotranspiration rates by adapted evapotranspiration depth)
3. „flooded“ (3 layer model, using a third-fictive surface layer to afford model performance at saturated conditions).

## Leakage



Due to a diverse topology the testfield is dominated by different main hydraulic conditions. Exfiltrating groundwater dominates at Transect B, infiltration at Transect A. Leakage rates shown below result from groundwater modelling.



## Estimating groundwater emissions

$$F = \sum q \cdot c \cdot k_{SRP}$$

F - total flux [g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>]  
 $\sum q$  - infiltration/exfiltration rates [l m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>]  
 C - concentration [mg l<sup>-1</sup>]  
 K - precipitation factor [FeOOH=P]

Year 2001	q	q <sub>c</sub> SRP g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	q <sub>c</sub> DOC g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	k	F SRP/DOC g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>
Transect A infiltration	9056	0,2	94	1	0,2 94
Transect A Exfiltration	4207	3,3	58	0,15	0,46 58
Transect B infiltration	8160	0,16	82	1	0,16 82
Transect B Exfiltration	16509	13,0	154	0,15	2,0 154

## Conclusion

A reduction of water level fluctuations at stable, high water levels would significantly reduce:

- i. matter mobilisation from peat soils
- ii. matter transport to the surface water

# **The Goal Oriented Water-Legal Balance Compensation Payments of the Water Company Leipzig GmbH (KWL) on Basis of Model-Supported Nitrogen Balance**

B. Wagner<sup>1</sup>/M. Steininger/A. Jäger /O. Christen

Dipl.-Ing. agr Bernhard Wagner  
Institut für nachhaltige Landwirtschaft Halle / Saale e.V.  
Am Krähenberg 22  
06118 Halle / Saale (Germany)

Dr. agr Michael Steininger  
Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz  
Hauptstr. 19  
06132 Halle/Saale (Germany)

Dipl.-Biol. Andreas Jäger  
SB Landwirtschaft und Hydrologie  
Kommunale Wasserwerke Leipzig GmbH  
Unternehmensbereich Wasserwerke  
Johannisgasse 7/9  
D-04103 Leipzig (Germany)

Prof. Dr. Olaf Christen  
Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften  
Professur für Allgemeinen Pflanzenbau/Ökologischen Landbau  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Ludwig-Wucherer-Str. 2  
D-06108 Halle/Saale (Germany)

In Saxony, Germany, the water company KWL was looking for a goal orientated systems to manage compensation payments in an area which is dominated by agricultural land use. These systems should be efficient from an ecological and an economic point of view.

In its predominantly agriculturally used catchments areas a protection concept was introduced, which uses the surface-concrete nitrogen balance as a means for compensation payments. By calculating the nitrogen balance with the environmental management system REPRO the results are comparable by using the nitrogen cycle on plausibility. With the N-balance an indicator was selected, which shows a great relevance for nitrate inputs in the groundwater. It is also possible to relate this indicator to changes in agricultural management and thus allows the farmers to adjust their husbandry with the aim to reduce nitrate pollution. The REPRO model allows the calculation of a qualified nitrogen balance on different scale levels the linkage with site specific information on the soil is a way to calculate possible nitrate leaching is used to introduce changes in the management system of the farms. The use of the model REPRO, however, does not replace qualified mass transfer modelling; it ensures farm and area-specific as well as rational evaluation of N-losses of agricultural used land. This evaluation makes the classification possible of location-referred tolerable nitrogen balances for different management systems. On this basis realistic scenarios for compensation payments can be derived.

## References

- ABRAHAM, J. (2001): Auswirkungen von Standortvariabilitäten auf den Stickstoffhaushalt ackerbaulich genutzter Böden unter Berücksichtigung der Betriebsstruktur,... Dissertation. Shaker Verlag Aachen.
- ARBEITSGRUPPE BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Geologischen Landesämter und Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland, 5. Auflage, Hannover.
- FELDWISCH, N. (1998): Austräge in die Atmosphäre. In: FREDE, H. G. & S. DABBERT (Hrsg.) Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft, 119-120.
- FREDE, H.-G. & S. DABBERT (HRSG.) (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. ECOMED-Verlag, Landsberg.
- GLUGLA, G.; FÜRTIG, G. (1997): Dokumentation zur Anwendung des Rechenprogramms ABIMO. Berlin
- HERMSMEYER, D. & R. R. & VAN DER PLOEG (1996): Schätzung der Denitrifikation in landwirtschaftlich genutzten Böden. II. Ergebnisse und Bewertung. Zeitschrift f. Pflanzenernährung und Bodenkunde 159, 445-452.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitation. Shaker Verlag Aachen.

# Die zielorientierte wasserrechtliche Ausgleichsregelung der Kommunalen Wasserwerke Leipzig GmbH auf Basis modellgestützter Stickstoffbilanzierung

B. Wagner\* / M. Steininger\*\* / A. Jäger\*\*\* / O. Christen\*\*\*\*

## Gestaltung der Ausgleichsregelungen

Die seit Januar 2002 gültige SächsSchAVO\* verpflichtet die Kommunalen Wasserwerke Leipzig GmbH zu Ausgleichszahlungen für Einschränkungen der ordnungsgemäßen Landwirtschaft in Wasserschutzgebieten. Verschiedene Ansätze sind dafür seitens der Politik in der Diskussion. Die für die Kommunalen Wasserwerke Leipzig GmbH entwickelte Ausgleichslösung soll den regionalen Schutzanspruch sowie die wesentliche Vorsorgestrategie im Wasserschutz umsetzen. Hauptsächliches Problem sind Stickstoffbelastungen im Aquifer, überwiegend verursacht durch N-Überschüsse aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung. \* SächsSchAVO - Sächsische Schutz- und Ausgleichsverordnung für die Land- und Forstwirtschaft

## Anforderungen an eine Ausgleichsregelung

- Ausgleichskriterien mit landwirtschaftlicher und wasserwirtschaftlicher Relevanz
- Kontrollfähigkeit und Transparenz bei geringem Kontrollaufwand
- Ausgleichsregelung unter Wahrnehmung und Berücksichtigung der Interessen beider Vertragspartner

## Die zielorientierte Ausgleichsregelung

Ausgleichszahlung für eine konkrete, in einem Betrieb erzielte Wasserschutzleistung (Limitierung der N-Überschüsse)

Grundlage:

- Vereinbarung der Unterschreitung eines vereinbarten N-Saldos (Saldo der N-Flächenbilanz im Mittel der Schläge im WSG)
- N-Saldo: Ergebnis der landwirtschaftlichen N-Verwertung mit direktem Bezug zur Sickerwasserbelastung

## Methodische Umsetzung

- Nutzung der Software REPRO® zur standardisierten Ermittlung des flächenbezogenen N-Saldos

Der flächenbezogene N-Saldo beschreibt das Gesamtverlustpotential an reaktiven N-Verbindungen. Abweichend von vereinfachten N-Bilanzen werden die N-Irrmissionen berücksichtigt, da es sich um ertragswirksame und umweltrelevante N-Zuführen handelt. Veränderungen der Boden-N<sub>org</sub>-Vorräte im Bilanzzeitraum durch die Netto-Mineralisations-Immobilisation werden durch die Kopplung mit der Humusbilanz einbezogen. Dadurch kann das N-Verlustpotential genauer bestimmt werden.

- Datenerfassung auf Grundlage der gesetzlichen Aufzeichnungspflicht (Schlagkartei im WSG), ergänzt durch Angaben zu Tierbeständen, Fütterung und Tierleistungen
- Nutzung bodenphysikalischer Parameter, abgeleitet aus Daten der Bodenschätzung, sowie regionaler Witterungsdaten zur wasserwirtschaftlichen Sekundärauswertung (Abb. 1)

\*REPRO = Umwelt- und Qualitätsmanagementsystem für landwirtschaftliche Betriebssysteme

## Diskussion und Zusammenfassung

Der flächenbezogene N-Saldo ermöglicht eine zielorientierte, kooperative und wirtschaftliche Regelung des Ausgleichs für Landnutzeinschränkungen in Wasserschutzgebieten.

Die Ausgleichsregelung auf Basis des N-Saldos ermöglicht, dass landwirtschaftliche Unternehmen mit unterschiedlichen Betriebssystemen betriebsgemäße Anpassungsstrategien zur Reduzierung von Nährstoffüberschüssen entwickeln. (Anpassung der Betriebs- und Anbaustruktur, der Fruchtfolge, der Intensität des Betriebsmitteleinsatzes oder der Gestaltung der Produktionsverfahren).

Es werden keine Einzelmaßnahmen des Wasserschutzes "eingekauft", sondern der Schwerpunkt auf die vorsorgeorientierte Zielerfüllung des Wasserschutzes gemessen an der Begrenzung der Emission eines relevanten Nährstoffs, gelegt.

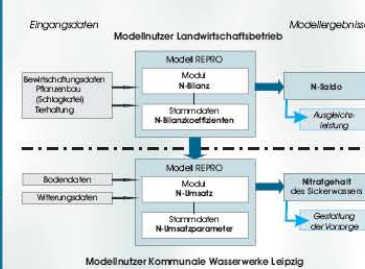
Die zielorientierte Ausgleichslösung stützt sich auf die standort- und bewirtschaftungspezifische sekundäre Auswertung des N-Saldos (modellgestützt ermittelte N-Belastung des Sickerwassers, siehe Abb. 2) sowie die hydrogeologischen Kenntnisse und die hydrochemische Überwachung des Gebietes.

## Abb. 1 Schritte zur Realisierung



\* zur Berechnung von Parameterwerten; \*\* Sekundäre Auswertung der N-Salden unter Nutzung von Standarddaten zur Ermittlung der Sickerwasserbelastung

## Abb. 2 Schematische Darstellung der Modellnutzung



## Ermittlung tolerabler N-Salden

Die Kommunalen Wasserwerke Leipzig GmbH haben als Grundwasserzielwert eine NO<sub>3</sub>-Konzentration von 25 mg/l vorgegeben. Unter der Annahme eines weiträumigen Nitratbauseins auf der Fließstrecke von der Wurzelzone bis zum Grundwasser wurde für die Wurzelzone ein Zielwert von 40 mg/l Sickerwasser festgelegt.

Der daraus resultierende standortpezifische, tolerable N-Flächensaldo lässt sich aus der Umstellung von der unten stehenden Gleichung nach N<sub>tol</sub> ermitteln.

Abb. 3 zeigt die tolerablen N-Salden, resultierend aus der vorgegebenen NO<sub>3</sub>-Zielkonzentration von 40 mg/l im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone, entsprechend dem gegenwärtigen REPRO-Bilanzansatz.

$$\text{pot. NO}_3 = \left[ (N_{\text{org}} - N_{\text{H}_2} - \text{Denitrif.}) + \text{AF/SW} \right] + 4,43 \cdot 100$$

pot. NO<sub>3</sub> = potenzielle NO<sub>3</sub>-Konzentration im Sickerwasser (mg NO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup>)  
 N<sub>org</sub> = N-Saldo Flächenbilanz (aus REPRO) (kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)  
 N<sub>H<sub>2</sub></sub> = NH<sub>4</sub>-Verlust (kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)  
 Denitrif. = Denitrifikation (kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)  
 AF = Austauschfaktor (Relativzahl)  
 SW = Sickerwasser (mm bzw. l m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)  
 4,43 = Umrechnungsfaktor (N zu NO<sub>3</sub>)  
 100 = Umrechnungsfaktor

$$\text{wobei: AF} = \frac{\text{für AH} > 100\%}{\text{für AH} = 100\%} \rightarrow \text{AF} = 1$$

$$\text{für AH} = 100\% \rightarrow \text{AF} = \frac{\text{AH}}{100}$$

## Praxis der Schutzzoneneinzeption

Gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche in Wasserschutzgebieten der Kommunalen Wasserwerke Leipzig GmbH: ca. 9.200 ha

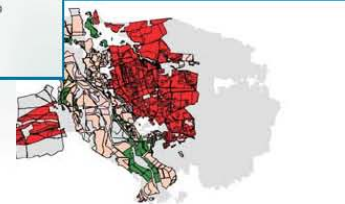
1. Ökologisch bewirtschaftete Flächen: höchster Schutzanspruch, Wasserschutzzone II mit ca. 990 ha

2. Begrenzung des N-Bilanzüberschusses („N-Saldo“): Teile von Wasserschutzzone II A bzw. ca. 2170 ha



3. Ausgleichsregelung macht Sickerwasser- und Grundwasser-Wasserschutz durch gesetzlichen „Mittelerschutz“ Gewässerabsatz: Teile von Schutzzone II A bzw. II und III B sowie M

## Abb. 3 Tolerable N-Salden WEG / WSG



Flächen WSG und WEG

# Ein Vergleich von gemessenen und simulierten Sickerwassermengen auf verschiedenen Landnutzungen in der Trier-Bitburger-Mulde

T. Sauer/E. Tressel/M. Casper

Universität Trier  
Physische Geographie  
Behringstraße  
D-54286 Trier – Germany

Von 1994 bis 1998 wurden auf verschiedenen Standorten im Mesozoikum der Trier-Bitburger-Mulde die Sickerwassermenge über Lysimeter bestimmt (E. TRESSEL 2002). Bei den Lysimetern handelt es sich um nicht-wägbare Bodenmonolithe mit einer Grundfläche von 0,25 m<sup>2</sup>. Die Sickerwassermengen wurden wöchentlich gemessen und liegen für diese Studie als Monatswerte vor. Die Studie untersucht inwieweit ein Hang- bzw. Einzugsgebietsmodell die standörtlichen Eigenschaften auf der Plotskale abbilden kann. Es wurden jeweils ein Grünland und ein Ackerstandort aus schluffig-tonigem bzw. lehmig-sandigem Substrat untersucht.

Um die Sickerwassermengen zu simulieren wurde das physikalisch basierte, hydrologische Modell CATFLOW (T. MAURER 1997, E. ZEHE 1999) für die Lysimeterstandorte parametrisiert. Das Modell berechnet die Infiltration und die Bodenwasserbewegung über die Richardsgleichung. Makroporenfluss wird konzeptionell über eine lineare Erhöhung der hydraulischen Leitfähigkeit ab einem bestimmten Grenzwassergehalte (hier Wassergehalt bei pF 2,5) berücksichtigt.

Mit Hilfe des Computerprogramms Rosetta Lite (M. G. SCHAAP et al 2001) wurden über die Eingangsgrößen prozentualer Sand-, Schluff-, Tonanteil und die Trockenrohdichte die einzelnen Horizonte nach dem Modell von van Genuchten/Mualem parametrisiert. Als untere Randbedingung wurde Gravitationsfluss angenommen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Sickerwassermengen in der richtigen Größenordnung abgebildet werden. Problematisch ist die Simulation der Sickerwassermenge auf makroporenen Standorten in den Sommermonaten, da der Makroporenfluss an den Bodenwassergehalt gebunden ist und ein Bypass-Flow nicht simuliert werden kann.

## Literatur/References

- MAURER, T. (1997): Physikalisch begründete, zeitkontinuierliche Modellierung des Wassertransports in kleinen ländlichen Einzugsgebieten. – Mitteilungen des Institutes für Hydrologie und Wasserwirtschaft 61: 238 S., Karlsruhe.
- Tressel, E. (2000): Bodenwasserhaushalt in der Trier-Bitburger-Mulde. Fallstudien auf der Basis eines Lysimeter- und Bodenfeuchtemeßnetzes und Regionalisierung der Jahressickerwassermengen mit einem Geographischen Informationssystem. – Band 1, 450 S., Dissertation, Universität Trier.
- SCHAAP, M.G., LEIJ, F.J., VAN GENUCHTEN, M. TH. (2001): Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*, 251: 163-176.
- ZEHE, E. (1999): Stofftransport in der ungesättigten Bodenzone auf verschiedenen Skalen. – Mitteilungen des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft, 64: 227 S., Karlsruhe.



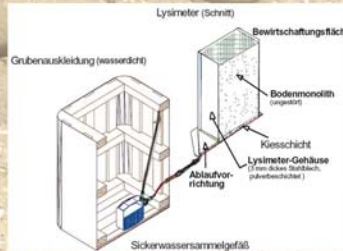
# Ein Vergleich von gemessenen und simulierten Sickerwassermengen auf verschiedenen Landnutzungen in der Trier-Bitburger-Mulde

Tilmann Sauer, Elisabeth Tressel, Markus Casper  
 Universität Trier, Abteilung Physische Geographie



## Einleitung

Ein physikalisch basiertes hydrologisches Hangmodell wird auf der Plotskala an der Bilanzgröße Sickerwasser validiert. Das Sickerwasser wurde an Lysimetern in der Trier-Bitburger-Mulde in einem Zeitraum von 1994–1998 auf verschiedenen Landnutzungen gemessen. Bei den Lysimetern handelt es sich um ungestört entnommene Bodenmonolithen mit einer Grundfläche von 0,25 m<sup>2</sup>.



## Standorte

- Grünland 1: Pelosol-Pseudogley (ku)
- Acker 1: Pelosol-Pseudogley (ku)
- Grünland 2: Pseudogley-Braunerde (sm)
- Acker 2: Braunerde (sm)

### Daten für die Parametrisierung

- Sand-, Schluff- und Tongehalt
- Trockenrohdichte
- Θ bei pF 2,5 und 4,2
- gesättigte hydraulische Leitfähigkeit
- Matrixleitfähigkeit (Rosetta Lite)

## Modellsystem

CATFLOW (Maurer 1997, Zehe 1999)

- physikalisch basiert
- Einsatzgebiet – Hang bis Kleineinzugsgebiet
- Matrixfluss – Richardsgleichung
- Bodenparametrisierung – horizontweise nach van Genuchten/Mualem
- Makroporenfluss - ab einem Grenzwassergehalt (Θ bei pF 2,5) wird die hydraulische Leitfähigkeit linear erhöht
- Makroporositätsfaktor (f<sub>mac</sub>)
- Verdunstung – Penman/Monteith (Stundenwerte)
- Niederschlag – 5 Minutenwerte
- Landnutzung – Durchwurzelungstiefe, Blattflächenindex, Bodenbedeckungsgrad, Pflanzenhöhe wird zeitvariabel vorgegeben

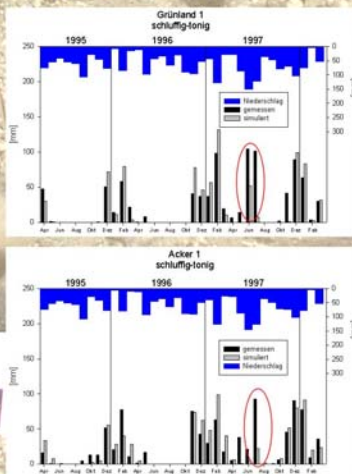


## Böden

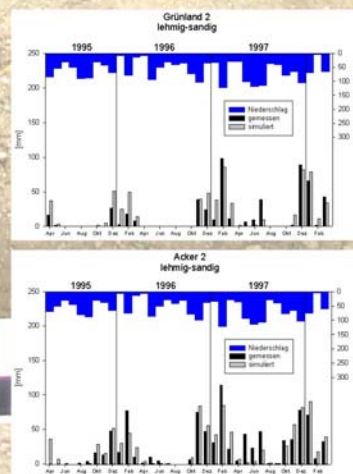
Horizont	Tiefe [cm]	Bodenart	TRD [g cm <sup>-3</sup> ]	kaol Matrix [cm d <sup>-1</sup> ]	f <sub>mac</sub> [-]
<b>Grünland 1</b>					
Ah	12	Um	1,01	64	1
P-Sw1	36	Lu	1,43	13	2
P-Sw2	47	Lu	1,53	5	54
II P-Sd	60	Tu3	1,66	2	10
II P-Sd	60+	Tu2	1,70	1	12
<b>Acker 1</b>					
Ap	25	Tu3	1,42	10	39
P-Sw1	30	Tu3	1,56	3	130
P-Sw2	40	Tu3	1,47	2	66
II P-Sw	56	Tu3	1,46	4	3
II P-Sd	55+	Tu3	1,66	2	3
<b>Grünland 2</b>					
Ah	18	Su3	1,47	22	-
Bv	40	Su3	1,53	70	-
II Sw	50	Su3	1,69	12	5
II Swd	70	Siu	1,90	5	9
III Sd+Cv	70+	Lt2	1,65	5	10
<b>Acker 2</b>					
Ap	26	Su3	1,43	67	-
Ap-Bv	36	Su3	1,46	139	-
Bv	49	Su3	1,56	117	-
Bv+Cv	60	Su4	1,42	201	-
ICv	60+	Su3	1,66	164	-

## Ergebnisse

Substrat	Nutzung	Niederschlag [mm]	Sickerwasser		Differenz [%]	Korrelation [-]	RMSE [mm]		
			gemessen [mm]	simuliert [%]					
schluffig-tonig	Grünland 1	2519	895	35	802	31	-10	0,78	22,7
	Acker 1	2226	875	39	836	38	-4	0,79	18,5
lehmig-sandig	Grünland 2	2179	513	23	671	31	+30	0,88	13,1
	Acker 2	2135	873	41	909	43	+4	0,85	13,9



Das Modell bildet die gemessene Sickerwassermengen bis auf den Größenordnung ab. Problematisch ist die Simulation in den Sommermonaten, da im Modell der Makroporenfluss an den Bodenwassergehalt gekoppelt ist und ein Bypass-Flow nicht simuliert werden kann. Das Phänomen ist bei Böden aus schluffig-tonigen Material deutlicher ausgebildet, da hier sehr viel mehr Makroporen vorhanden sind als auf dem lehmig-sandigen Substrat und in den Sommermonaten zusätzlich noch Schrumpfrisse auftreten. Die Ergebnisse müssen aber auch vor dem Hintergrund der möglicherweise nicht exakten Verdunstungsrechnung gesehen werden, da hier viele Parameter (Durchwurzelung, LAI etc.) nur geschätzt werden konnten.



Kontakt: Dipl.-Geogr. Tilmann Sauer, Physische Geographie, Universität Trier, Behringstraße 54286 Trier, sauer@uni-trier.de

# Grundwassergüte-Monitoring in Österreich, Trendauswertungen und Modellierung von Grundwassergüte-Parametern

C. Schramm/J. Grath/A. Scheidleder

Umweltbundesamt, Abteilung Grundwasser – Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien – Österreich

Die Überwachung des chemischen Zustands des Grundwassers ist seit mehr als 15 Jahren ein wesentliches Element der Wasserwirtschaft in Österreich. Das Messnetz basiert auf einem konzeptionellen Verständnis des Grundwassersystems, das die Charakterisierung des Grundwasserkörpers und relevanter Einflussfaktoren (naturräumliche Eigenschaften wie z.B. Hydro(geo)logie, Boden, u.a. sowie Faktoren, die Einfluss auf die Wasserqualität haben) umfasst. Am Umweltbundesamt werden die bundesweit erhobenen Daten zusammengeführt und im Rahmen (inter)-nationaler Berichtspflichten ausgewertet und veröffentlicht. Bei den Daten handelt es sich um Stammdaten (Beschreibung der Messstellen und Wasserkörper), Qualitätsdaten und geographischen Lageangaben. Im Folgenden werden beispielhaft zwei Projekte beschrieben, die sich u.a. mit der Modellierung der Grundwassergütedaten im großräumlichen Maßstab befassen.

Im Zuge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) war bis Ende 2004 unter anderem eine Beurteilung erforderlich, für welche Grundwasserkörper ein Risiko besteht, dass sie im Jahr 2015 die Ziele der WRRL eines guten chemischen Zustandes nicht erreichen (BMLFUW 2005). In Österreich bildeten Zustands- und Trendberechnungen auf Basis von gemessenen Daten die Basis für die Risikobewertung von Grundwasserkörpern. Mangels Vorgaben in der Wasserrahmenrichtlinie wurde die Beurteilung des Zustands anhand der Kriterien der Grundwasserschwellenwertverordnung vorgenommen. Die Trendauswertungen erfolgten auf Basis von Kriterien des Technical Report 1 „Grundwasserstatistik“ ([www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net)), bei dessen Erstellung das Umweltbundesamt federführend mitwirkte. Für Grundwasserkörper mit unzureichender Datengrundlage wurde ein statistisches Modell entwickelt, anhand dessen mittels Analogieschlüssen das Konzentrationsniveau aus zahlreichen Einflussfaktoren abgeleitet wurde. Insgesamt wurden 8 Grundwasserkörper hinsichtlich der Parameter Nitrat, Atrazin und Desethylatrazin als gefährdet eingestuft.

Ein allfälliger Zusammenhang zwischen dem Niederschlag und Nitratkonzentrationen im Grundwasser wurde im Rahmen eines statistischen Modells untersucht. Anstoß dazu gaben Ergebnisse einer Studie (BMLFUW, 2004), die zeigten, dass etwa ein Fünftel der Grundwassergebiete in Österreich seit 2000 einen Wiederanstieg der Nitratkonzentrationen aufweisen. Mittels Impulsfunktionen wurde der funktionale Zusammenhang zwischen Ursache (Niederschlag) und der Reaktion (veränderten Nitratkonzentrationen im Grundwasser) als Funktion der Zeit beschrieben. Die Ergebnisse zeigten einen statistischen Zusammenhang zwischen Trends im Niederschlag und Nitratgehalten im Grundwasser. Aufgrund der teilweise nicht vorhandenen Eindeutigkeit der Zusammenhänge (Mehrfachlösungen), die vor allem auf die relativ kurzen Zeitreihen zurückgeführt wurden, waren Rückschlüsse auf den kausalen Zusammenhang zwischen Niederschlag und Nitrat im Grundwasser allerdings nicht möglich.

## Literatur

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft - BMLFUW (2004): Nitrat-Auswertung österreichischer Grundwassergebiete bis Mitte 2003. Umweltbundesamt im Auftrag BMLFUW, Wien.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft - BMLFUW (2004): Zusammenhang zwischen variierenden Niederschlagssummen und Nitratkonzentrationen im Grundwasser. Umweltbundesamt im Auftrag des BMLFUW, Wien.



Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft - BMLFUW (2005): Österreichischer Bericht der IST-Bestandsaufnahme, Wien.  
 EC (2001): Technical Report No. 1. The EU Water Framework Directive: statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results.



## Grundwassergüte-Monitoring in Österreich, Trendauswertungen und Modellierung

C. Schramm, J. Grath, A. Scheidleder: Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency)  
 Kontakt: [claudia.schramm@umweltbundesamt.at](mailto:claudia.schramm@umweltbundesamt.at)

### Elemente der Überwachung der Grundwasserqualität

**Grundwassermessnetz Österreich ab 2007**  
 136 Grundwasserkörper (GWK) über die gesamte Bundesfläche, davon

- 64 oberflächennahe Einzel-GWKs
- 63 oberflächennahe Gruppen von GWKs
- 1 Einzel-Tiefen-GWK
- 8 Gruppen von Tiefen-GWK

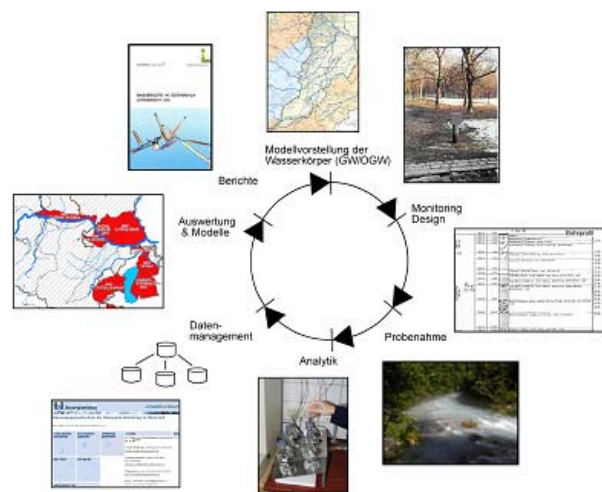
Circa 2000 Grundwassermessstellen  
Beobachtungszyklus: 6 Jahre

- 1 Jahr Erstbeobachtung
- 5 Jahre Wiederholungsbeobachtung wenn kein Risiko
- 5 Jahre operative Überwachung wenn Risiko

Parameter:

- *Block 1:* Probenahme und vor-Ort-Parameter, Anorganische Parameter, Alkali- und Erdalkalimetallen
- *Block 2:* Metalle, Kohlenwasserstoffe, Pestizide

Beobachtungsfrequenz:  
 Grundsätzlich vierteljährlich bis jährlich  
Parameterumfang: bis zu 130 Parameter



### Trendauswertung und Modellierung von Grundwassergüte-Parametern

**Modellierung Niederschlag und Nitrat im Grundwasser**

- Wiederanstieg der Nitrat-Konzentrationen seit 2000 in ca. einem Fünftel der Grundwassergebiete in Österreich - Zusammenhang zwischen Niederschlägen und Nitrat im Grundwasser?

→ Impulsfunktionen zur Beschreibung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Ursache (Niederschlag) und Reaktion (veränderten Nitratkonzentrationen im Grundwasser) als Funktion der Zeit (Reaktionszeit)

*Beispielhafte Darstellung einer Impulsfunktion:*

Ergebnis:

- Zusammenhang zwischen Trends im Niederschlag und Nitrat im Grundwasser statistisch nachweisbar
- Mehrfachlösungen aufgrund von zu kurzen Zeitreihen → keine Rückschlüsse auf den kausalen Zusammenhang möglich

**Modellierungen im Rahmen der Risikobewertung von Grundwasserkörpern**

- Zustands- und Trendberechnungen auf Basis von bereits erhobenen Daten
- Zustand: Kriterien gemäß Grundwasserschwellenwert-VO (Anteil gefährdeter Messstellen > 50 %)
- Trend / Trendumkehr: Kriterien basierend auf dem EU-Technical Report 1 „Grundwasserstatistik“ ([www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net))

*Beispielhafte Darstellung Trend/ Trendumkehr:*

- Bei unzureichender Datengrundlage: statistisches Modell basierend auf **Analogieschlüssen** unter Einbeziehung zahlreicher Einflussfaktoren
- Ergebnis: 8 Grundwasserkörper in Österreich gefährdet, die Ziele gemäß Wasserrahmenrichtlinie nicht zu erreichen, bezüglich Nitrat bzw. Atrazin (seit 1995 nicht mehr zugelassen) und seinem Abbauprodukt Desethylatrazin

# Quantitative and Predictive Modelling of Organic Pollutants Leaching and Transport behaviour at the Lysimeter Scale.

E.A Amankwah<sup>1</sup>, R.Liedl<sup>1</sup>, P.Grathwohl<sup>2</sup>

1 Institute for Groundwater Management, Karcherallee 8. 01069 Dresden-Germany.

2 Center for Applied Geosciences, Sigwart strasse 10. 07072-Tuebingen-Germany

## Introduction

The fate of organic pollutants such as PAHs was quantified in large-scale lysimeters. The source zone consisted of materials such as contaminated soils (BO), demolition waste (BS) and ashes of household waste (HMV) while the transport zone consisted of either sandy soil ("sandboden") or loess-like material ("parabraunerde"). The results obtained from these experiments are hereby modeled.

## Method

The numerical code SMART described by Finkel et al (1999) was used. Pollutant concentrations are given by  $C(t) = \int_0^\infty g(\tau)\Gamma(\tau, t)d\tau$  (Dagan and Cvetkovic, 1996) where  $t$  is time [T] and  $\tau$  represents the travel time of a conservative tracer [T]. The variations in the arrival times which are mainly caused by hydraulic heterogeneities are described by constructing a probability density function (pdf) of travel times  $g(\tau)$ . The function  $\Gamma(\tau, t)$ , describes the reactive processes for a continuous injection with unit input concentration. The problem is solved by generation of the pdf, calculation of the reaction function and then evaluation of the breakthrough curve  $C(t)$ .

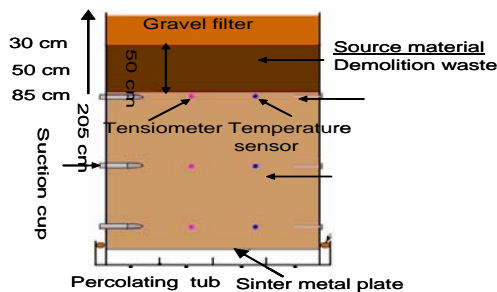


Fig.1: Modified cross section of lysimeter from Jülich.

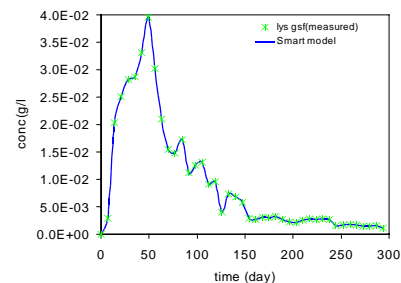


Fig 2: Conservative transport of bromide derived from pdf of measured data from Munich lysimeters.

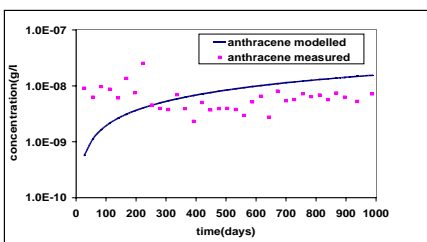


Fig 3: anthracene transport term lys.

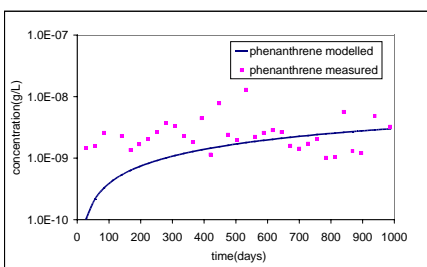


Fig 6: pyrene transport term lys.

## Results and Conclusion

Reactive transport modelling was performed under steady-state flow and temporally constant PAH sources. The reactive breakthrough of PAH's at the outlet of the lysimeters was predicted by pure forward modelling utilising the intraparticle diffusion model in SMART. Within the limit of experimental errors, the model predicts the data fairly well. Hence an extensive long-term modeling of the contaminants could be persued. The generally higher concentrations of the measured data within the first 200 days may be due to imperfect equilibrium in the lysimeters. The higher model predictions at longer times could be lowered when biodegradation is considered. However degradation was not yet confirmed the experiments.

Fig 5: phenanthrene transport term lys.

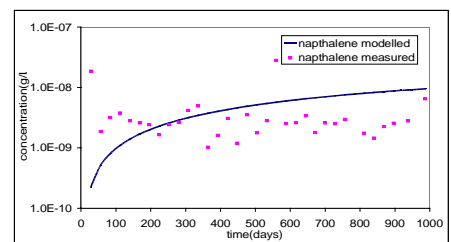
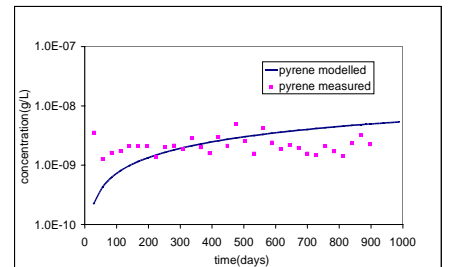


Fig 4: naphthalene transport term lys.



in

## References

DAGAN, G. & V. CVETKOVIC (1996). Reactive transport and immiscible flow in geological media, I. General theory. Proc. R. Soc. (London, A.): 285-301

FINKEL, M., R. LIEDL & G. TEUTSCH (1999). Modelling surfactant-enhanced remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons. J. Environ. Modelling & Software 14 (Special Issue "Groundwater Flow and Solute Transport Modelling"), 203-211

# Simulation of Nitrogen Leaching in the Grazer Feld

P. CEPUDER/R. NOLZ/V. AUS DER SCHMITTEN

University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna  
Department of Water, Atmosphere and Environment,  
Institute of Hydraulics and Rural Water Management  
Muthgasse 18, A-1190 Wien – Austria

Groundwater contamination is a serious problem. In many plains of Austria groundwater is used as a major source for drinking water. Nitrate concentration in the groundwater has increased dramatically during the last decades. Agriculture in particular, due to excessive application of fertilizers, is identified as a significant contributor to this diffuse contamination. In intensively used agricultural areas like the Grazer Feld the risk of groundwater pollution by nitrogen is very high. The agricultural community has become aware of the impact of fertilization and irrigation as well as crop rotation and tillage operations on groundwater contamination. The protection of water resources has reached high priority. Additional information regarding percolation and nitrogen leaching will help in future water management decisions.

Objective of this research is the simulation of percolation and nitrogen leaching under standard fertilization applications with a combination of a simulation model and GIS. Nitrogen leaching is calculated with EPIC (Environmental Policy Integrated Climate), ArcView-GIS is used to organize, manipulate, analyze and view these mainly spatial data. The linkage of GIS, simulation model and database provides a powerful tool for these calculations.

The research area, the Grazer Feld, is a large flat valley in the southeastern part of the Styrian Alps. The typical soil of the area is a brown meadow soil over fluvio-glacial sediments. The average temperature of the area is 9.8°C, the average annual rainfall is 830mm. Although precipitation is sufficient and well distributed, irrigation can be necessary for many crops in cases of longer dry periods.

Out of the Grazer Feld eight representative communities were selected to provide the basis for the simulation. The total agricultural research area is about 4400 ha, 90% are intensively used and the rest is grassland. Referring to an existing actual crop-growing database of the cultivated area the most commonly grown crop is maize (app. 50%), which is cultivated in crop rotation and in monoculture, as well as pumpkin (app. 20%). Different species of small grains (i.e. winter barley, winter wheat) rank third (app. 16%) continued by soybean, potato, field pea etc. Based on this information a representative crop rotation was generated: maize - pumpkin – winterbarley - maize - pumpkin - winterbarley - maize - winterwheat - pumpkin – summerbarley.

Crop rotation and tillage operations of the last decade were used to simulate percolation and nitrogen leaching as well as crop yields. Results were used to verify and calibrate the model by comparison with real yields.

Depending on soil quality, percolation varies between 220 and 420 mm. The average percolation for soils up to 90 mm plant available water storage capacity is 360 mm. Soils with medium and high plant available water storage capacity deliver a long-term average percolation of 280 and 240 mm respectively. Nitrogen leaching ranges from 80 to 120 kg/ha for more than half of the area. Some regions show leaching rates even above 120 kg/ha.

It is clearly shown that fertilization has an important impact on the contamination of groundwater by nitrogen. The lower the plant available storage capacity the higher the leaching of nitrogen under the same tillage operations will be. Therefore fertilization should be adapted to plant requirement as well as soil water storage capacity.

A further step can be the simulation of different scenarios of alternative land use (crop rotation, tillage operation,...) to detect better agricultural management practices. But in all areas yield reduction has to be avoided to ensure the income of the rural population.

# Simulation of Nitrogen Leaching in the Grazer Feld



Peter Cepuder, Volker Aus der Schmitt, Reinhard Nolz

University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna  
 Department of Water - Atmosphere - Environment; Institute of Hydraulics and Rural Water Management  
 Muthgasse 18, 1190 Wien Tel: +43/1-36006-5471 Fax: +43/1-36006-5499 email: peter.cepuder@boku.ac.at

## Introduction

Nitrate concentration in the groundwater has increased dramatically during the last decades. Agriculture in particular, due to excessive application of fertilizers, is identified as a significant contributor to this diffuse contamination. In intensively used agricultural areas, like the Grazer Feld, the risk of groundwater pollution by nitrogen is very high. The agricultural community has become aware of the impact of fertilization, crop rotation and tillage operations on groundwater contamination. Additional information regarding percolation and nitrogen leaching will help in future water management decisions. The research area, the Grazer Feld, is a large flat valley in the southeastern part of the Styrian Alps (Fig 1). The average annual rainfall for the period from 1981 to 2003 was 830 mm and the average annual temperature was 9.8°C (Fig 2). The research area of approx. 4400 ha contains approx. 40 different types of soils. The plant available soil water content varies from 30 to 250 mm in a 120 cm soil profile depth. Fig 3 shows a soil map of the study area with three classes of plant available soil water content for low, medium and high capacity (cap) soils.



Fig 1: Location of the study site in Austria

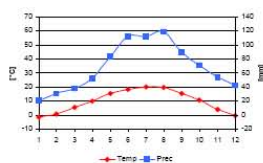


Fig 2: Climatic diagram for the Graz weather station for the period from 1981-2003

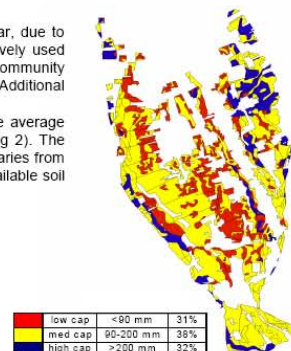


Fig 3: Classes of soil water storage capacity and percentage of area

## Materials and Methods

Objective of this research is the simulation of percolation and nitrogen leaching under standard fertilization applications. Nitrogen leaching is calculated with EPIC (Environmental Policy Integrated Climate). ArcView-GIS is used to organize, manipulate, analyze and view these mainly spatial data. Referring to a crop-growing database of the cultivated area, a representative crop rotation was generated:

**maize - pumpkin - winterbarley - maize - pumpkin - winterbarley - maize - winterwheat - pumpkin - summerbarley**

Additionally, typical tillage operations and fertilizing practices (Tab 1) were included to create a realistic model. Nitrogen leaching and the concentration of nitrate in the percolation water were simulated with respect to 40 different soil types. Crop yields, percolation and nitrogen leaching were obtained for the total study area.

Tab 1: Standard nitrogen fertilization in kgN/ha

crop	kgN/ha
maize	99
pumpkin	68
winterbarley	102
winterwheat	89
summerbarley	48

Tab 2: Yield [t/ha] for different soil types and percentage relating to medium (med cap) capacity soil

	maize		pumpkin		winterbarley		winterwheat		summerbarley	
	[t/ha]	[%]	[t/ha]	[%]	[t/ha]	[%]	[t/ha]	[%]	[t/ha]	[%]
low cap	6,2	76	0,4	80	4,2	70	4,6	90	1,9	56
med cap	8,2	100	0,5	100	6,0	100	5,1	100	3,4	100
high cap	9,0	110	0,5	100	6,5	108	5,4	106	3,5	103

## Results

The simulated crop yield in t/ha dry matter and percentage change referring to medium capacity soils are presented in Tab 2. Depending on soil quality, percolation varies between 220 and 420 mm. The average percolation for soils up to 90 mm plant available water storage capacity is 360 mm. Soils with medium and high plant available water storage capacity deliver a long-term average percolation of 280 and 240 mm respectively (Fig 4).

In Fig 5 nitrogen leaching is shown. It ranges from 80 to 120 kg/ha for more than half of the area. Some regions show leaching rates above 120 kg/ha. The average values of nitrogen leaching and nitrate concentration for soils with low, medium and high capacity are shown in Tab 3.

Tab 3: Average values of nitrogen leaching and nitrate concentration for different soils

	nitrogen leaching [kg/ha.a]	nitrate concentration [mg/l]
low cap	83	102
med cap	39	83
high cap	30	56

## Conclusion

It is clearly shown that fertilization has an important impact on the contamination of groundwater by nitrogen. The lower the plant available storage capacity the higher the leaching of nitrogen under the same tillage operations will be. Therefore fertilization should be adapted to plant requirement as well as soil water storage capacity.

A further step can be the simulation of different scenarios of alternative land use (crop rotation, tillage operation,...) to detect better agricultural management practices. But in all areas yield reduction has to be avoided to ensure the income of the rural population.

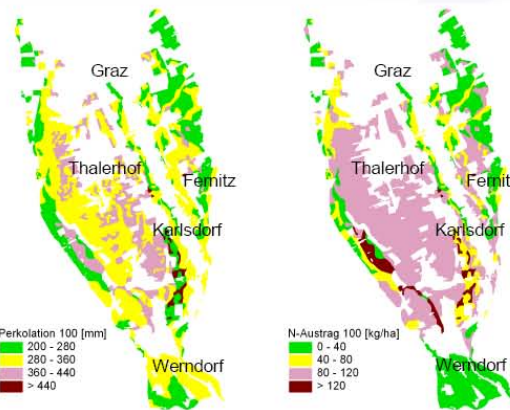


Fig 4: Percolation in mm

Fig 5: Nitrogen leaching in kg/ha

University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna  
 Department of Water, Atmosphere and Environment  
 Institute for Hydraulics and Rural Water Management

universität des lebens

# Measuring and Modelling of the Nitrogen Cycle in the North Tyrolean Limestone Alps

F. Herman<sup>1\*</sup>, S. Smidt<sup>1</sup>, K. Butterbach-Bahl<sup>2</sup>, M. Englisch<sup>1</sup>, E. Gebetsroither<sup>3</sup>, R. Jandl<sup>1</sup>, K. Katzensteiner<sup>4</sup>, M. Lexer<sup>4</sup>, F. Strebl<sup>3</sup>, S. Zechmeister-Boltenstern<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (BFW Vienna), Seckendorff-Gudent Weg 8, A-1130 Vienna, Austria

<sup>2</sup> Institute for Meteorology and Climate Research (IMK-IFU), D-82467 Garmisch-Partenkirchen, Germany

<sup>3</sup> Austrian Research Centers Seibersdorf, A-2444 Seibersdorf, Austria

<sup>4</sup> University of Natural Resources and Applied Life Sciences, A-1190 Vienna, Austria

## Summary

The combination of lysimeters, fritted glass cups, NO<sub>x</sub> and meteorological measurements enabled the assessment of N pools and fluxes of an Austrian forest ecosystem on calcareous bedrock. The combination of six process-oriented models improved the knowledge about the most likely effects of increased temperature and different nitrogen inputs on nitrogen dynamics over the next fifty years. Enhanced nitrate leaching into the groundwater under changing environmental conditions has been verified by measuring soil water as well as by the modelling of the complete nitrogen cycle.

## Methods

The study site located in the NTLA is an intensively monitored research plot of 0.3 ha. The coordinates of the research plot are 11° 38' 21" East and 47° 34' 50" North, the elevation is 895 m a.s.l. This site is typical for the area of the NTLA.

Database: Many years of monitoring activities and research projects provide a time-series of key elements of the nitrogen cycle: input, pools, internal fluxes, and output as N<sub>2</sub>O emission rates and nitrate fluxes into the subsoil. All these data were included into the respective models.

Scenarios: The scenarios were: SC1: current temperature and actual nitrogen deposition (18 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>), SC2: warmer climate (increase of 2.5 °C of the mean annual temperature) and N-deposition reduced by 50 % (9 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>), SC3: warmer climate and doubled N-deposition (36 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) and SC4: warmer climate and nitrogen deposition as actual.

Models: PnET-N-DNDC, BROOK90, HYDRUS, PICUS v1.3. The consolidation and evaluation of the results was performed with the nitrogen balance model (NBM) and TRACE.

## Results

Increasing temperature led to enhanced N<sub>2</sub>O-emissions, a significant increase of the mineralization and nitrification rates (nitrogen deposition caused these processes to a minor degree), more nitrate formation in the soil and therefore an enhanced risk of nitrate leaching into the subsoil and the aquifer and increased nitrogen in the woody and root biomass. Increasing nitrogen input led only to a slightly increased formation of N<sub>2</sub>O, but to an escalated nitrate leaching already under the current nitrogen deposition, especially if the nitrogen deposition was doubled.

# Measuring and Modelling of the Nitrogen Cycle in the North Tyrolean Limestone Alps

Friedl Herman<sup>1</sup>, Stefan Smidt<sup>1</sup>, Klaus Butterbach-Bahl<sup>2</sup>, Michael Englisch<sup>1</sup>, Ernst Gebetsroither<sup>3</sup>, Robert Jandl<sup>1</sup>, Klaus Katzensteiner<sup>4</sup>, Manfred Lexer<sup>4</sup>, Friederike Strebl<sup>3</sup>, Sophie Zechmeister-Boltenstern<sup>1</sup>

The combination of lysimeters, fritted glass cups, NO<sub>x</sub> and meteorological measurements enabled the assessment of N pools and fluxes of an Austrian forest ecosystem on calcareous bedrock. The combination of six process-oriented models improved the knowledge about the most likely effects of increased temperature and different nitrogen inputs on nitrogen dynamics over the next fifty years.

## Methods

**Study site:** The study site located in Achenkirch/Tyrol in the North Tyrolean Limestone Alps is an intensively monitored research plot of 0.3 ha.

**Database:** Input (canopy uptake, open field deposition including wet, dry and occult deposition as well as throughfall deposition), pools (above ground biomass, organic and inorganic nitrogen in the soil and soil water), internal fluxes (litterfall, surface runoff, soil water and nitrate relocation into microbial biomass, net mineralization rate, plant available nitrogen), and output as N<sub>2</sub>O emission rates and nitrate fluxes into the subsoil.

**Scenarios:** (1): current temperature and actual nitrogen deposition (18 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>), (2): warmer climate (increase of 2.5 °C of the mean annual temperature) and N-deposition reduced by 50 % (9 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>), (3): warmer climate and doubled N-deposition (36 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) and (4): warmer climate and nitrogen deposition as actual. Two time periods 1998-2002 and 2048-2052 have been assessed for comparative purposes.

**Models:** PnET-DNDC is an ecosystem model for the simulation of the carbon and nitrogen turnover focusing on the formation of N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> and NO in soils. BROOK90 is a hydrologic model which simulates precipitation, evapotranspiration and runoff (water balance) for small and homogenous forest watersheds. HYDRUS simulates the horizontal water flux in complex and heterogeneous soils. PICUS v1.3 models the forest productivity and the primary net production of a forest stand caused by environmental changes considering population dynamics. The consolidation and evaluation of the results was performed with the nitrogen balance model (NBM) and with the process-oriented biogeochemical model TRACE.



**Results:** Increasing temperature led to enhanced N<sub>2</sub>O-emissions, a significant increase of the mineralization and nitrification rates (nitrogen deposition caused these processes to a minor degree), more nitrate formation in the soil and therefore an enhanced risk of nitrate leaching into the subsoil and the aquifer, increased nitrogen in the woody and root biomass.

Increasing nitrogen input led only to a slightly increased formation of N<sub>2</sub>O, but to an escalated nitrate leaching already under the current nitrogen deposition, especially if the nitrogen deposition was doubled.

<sup>1</sup> Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape: BFW Vienna), Seckendorff-Gudent Weg 8, A-1130 Vienna, Austria ([stefan.smidt@bfw.gv.at](mailto:stefan.smidt@bfw.gv.at); [michael.engelisch@bfw.gv.at](mailto:michael.engelisch@bfw.gv.at); [friedl.herman@bfw.gv.at](mailto:friedl.herman@bfw.gv.at); [robert.jandl@bfw.gv.at](mailto:robert.jandl@bfw.gv.at); [sophie.zechmeister@bfw.gv.at](mailto:sophie.zechmeister@bfw.gv.at)); <sup>2</sup> Institute for Meteorology and Climate Research (IMK-IFU), D-82467 Garmisch-Partenkirchen, Germany ([klaus.butterbach@imk.fzk.de](mailto:klaus.butterbach@imk.fzk.de)); <sup>3</sup> Austrian Research Centers Seibersdorf, A-2444 Seibersdorf, Austria ([friederike.strebl@arcs.ac.at](mailto:friederike.strebl@arcs.ac.at); [ernst.gebetsroither@arcs.ac.at](mailto:ernst.gebetsroither@arcs.ac.at)); <sup>4</sup> University of Natural Resources and Applied Life Sciences, A-1190 Vienna, Austria ([manfred.lexer@edv1.boku.ac.at](mailto:manfred.lexer@edv1.boku.ac.at); [klaus.katzensteiner@woek.boku.ac.at](mailto:klaus.katzensteiner@woek.boku.ac.at))

# Langzeituntersuchungen zum Einfluss von Boden, Landnutzung und Bewirtschaftung auf die Sickerwasserbildung und den Stoffaustrag in der Trockenregion Nordostdeutschlands

U. Schindler/L. Müller

Institut für Bodenlandschaftsforschung im ZALF Müncheberg  
Eberswalder Str. 84  
D-15374 Müncheberg

## Kurzfassung

Seit 1993 wurde der Einfluss von Boden (Sand, Tieflehm und Lehm), Landnutzung (Acker, Wald, Grasbrache) und Bewirtschaftung (integriert- IO, integriert mit Beregnung- IB, organisch- OO, extensiv- EO) auf die Sickerwasserbildung und den Stoffaustrag auf Standorten im Nordostdeutschen Tiefland untersucht. Grundlage bildeten 36 bodenhydrologische Messplätze auf 20 unterschiedlichen Standorten. Die Analyse der Sickerwasserdynamik erfolgte aus kontinuierlichen Bodenwassergehalts- und Saugspannungsmessungen bis in 5 m Tiefe. Mittels Wasserprobenahme durch Saugsonden wurde der Stoffaustrag aus der durchwurzelten Bodenzone bestimmt. Die Eignung dieser vereinfachten Vorgehensweise wurde im Vergleich mit Lysimeterergebnissen geprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, mit kostengünstigen bodenhydrologischen Messungen die Dynamik der Sickerwasserbildung in situ unter ungestörten Bodenbedingungen zu analysieren.

Die höchsten jährlichen Sickerwassermengen wurden im Mittel der Jahre unter Acker ( $175 \text{ mm a}^{-1}$ ) und Grasbrache ( $174 \text{ mm a}^{-1}$ ) auf Sandstandorten gebildet. Die Unterschiede in den einzelnen Beobachtungsjahren waren jedoch groß und reichten unter Acker von  $81 \text{ mm a}^{-1}$  im trockenen Jahr 1996 bis  $420 \text{ mm a}^{-1}$  im nassen Jahr 2002. Auf den Lehmstandorten war die mittlere Sickerwasserhöhe mit  $122 \text{ mm a}^{-1}$  gegenüber den sandigen Ackerstandorten signifikant geringer. Der geringste Sickerwasserabfluss wurden jedoch auf den Waldstandorten in Märkisch Oderland und der Uckermark (Kiefer,  $15 \text{ mm a}^{-1}$ , Buche,  $17 \text{ mm a}^{-1}$ ) ermittelt. Die Unterschiede waren signifikant im Vergleich zu Acker auf Sand und Lehmstandorten und Grasbrache. Eine Ausnahme bildete der Buchenstandort unter Sand im Ruppiner Land, wo mit durchschnittlich  $100 \text{ mm a}^{-1}$  (2001-2005) deutlich höherer Sickerwasserabfluss als auf vergleichbaren Standorten in der Uckermark und Märkisch Oderland gemessen wurde. Grund dafür waren die höheren Niederschläge in dieser Region.

Die Stickstoffausträge waren im Mittel der Jahre auf sandigen Ackerstandorten mit  $23 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  nur geringfügig höher als auf Lehmstandorten ( $21 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Unter Wald ( $0,5 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und unter Grasbrache ( $1,8 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) war der Stickstoffaustrag gegenüber Ackernutzung signifikant geringer.

Der Einfluss der Bewirtschaftung auf den Ertrag, die Sickerwasserbildung und den Stoffaustrag auf einer Sandtieflehmfahlerde (Versuchsstandort Müncheberg) kann wie folgt zusammengefasst werden. Die integrierte Bewirtschaftung mit Beregnung erbrachte den höchsten Ertrag gefolgt von der integrierten Bewirtschaftung ohne Beregnung und der extensiven Variante. Die Ertragsleistung der organischen Bewirtschaftungsvariante betrug weniger als die Hälfte im Vergleich zur integrierten Bewirtschaftung. Die mittlere jährliche Sickerwassermenge variierte zwischen  $191 \text{ mm a}^{-1}$  in der integrierten Bewirtschaftung mit Beregnung und etwa  $160 \text{ mm a}^{-1}$  in der integrierten und extensiven Variante. Bei organischer Bewirtschaftung wurden  $180 \text{ mm a}^{-1}$  Sickerwasser gebildet. Trotz sehr unterschiedlicher Stickstoffdüngung (integriert mit Beregnung:  $129 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , organisch:  $46 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) waren die Unterschiede bei den Stickstoffausträgen zwischen den Varianten gering und nicht signifikant.

Die Hypothese wurde bestätigt, dass Ackernutzung die wesentliche Quelle für Tiefensickerung und Grundwasserneubildung in Nordostdeutschland ist. Es kann geschlussfolgert werden, dass Beregnung ein wesentlicher Faktor zur Ertragssteigerung bei gleichzeitiger Minderung der Stoffausträge sein

kann.

# Langzeituntersuchungen zum Einfluss von Boden, Landnutzung und Bewirtschaftung auf die Sickerwasserbildung und den Stoffaustrag in der Trockenregion Nordostdeutschlands

Schäfer, U. und L. Müller  
ZALF Münchberg, Institut für Bodenökologische Forschung  
D 15374 Münchberg, Ehrenwälder Str. 84

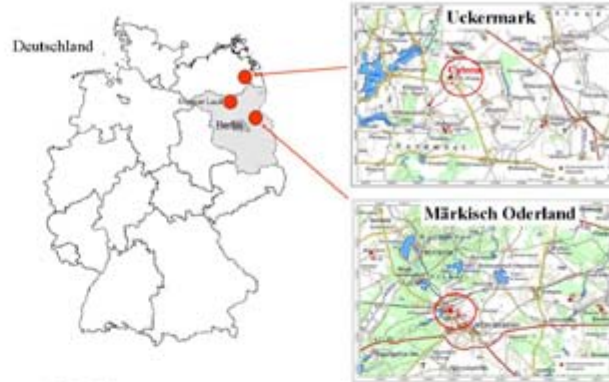


## Problemstellung

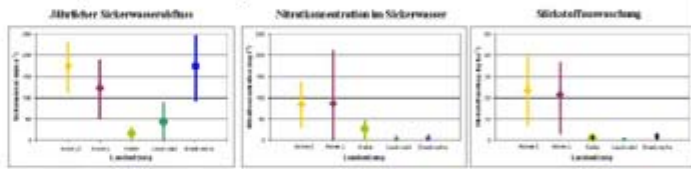
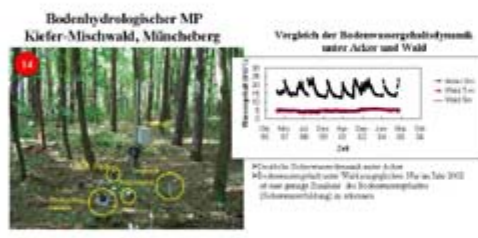
Die effiziente Wassernutzung und Wasserbewirtschaftung sind essenziell für Nordostdeutschland, eine Region mit einem jährlichen klimatischen Wasserhaushalt zwischen 80 und 250 mm. Das heißt: minimale Wassererhältlichkeit im Gebiet, Versauerung, reproduzierbar niedrige (Oberflächenniedrig, Dürre) und Regenerierung der Grundwasserneubildung durch Tiefensickerung und Grundwasseranreicherung. Klimascenarios weisen auf eine Verschärfung der Situation in Nordostdeutschland hin. Das Ziel der Arbeit bestand darin, Prozesskennwerte zu erlangen und zu erweitern zur Dynamik der Tiefensickerung in Abhängigkeit von Boden, Landnutzung und Niederschlag als Grundlage für die Gestaltung einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Landwirtschaft und Landbewirtschaftung.

## Bodenhydrologische Messplätze

Platz	Standort	Ergebnis	Bewirtschaftung	Standort	Ergebnis	Bewirtschaftung
1	Uckermark	1995	Acker, Grünland	2	1995	Acker, Grünland
3	Uckermark	1995	Acker, Grünland	4	1995	Acker, Grünland
5	Uckermark	1995	Acker, Grünland	6	1995	Acker, Grünland
7	Uckermark	1995	Acker, Grünland	8	1995	Acker, Grünland
9	Uckermark	1995	Acker, Grünland	10	1995	Acker, Grünland
11	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	12	1995	Acker, Grünland
13	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	14	1995	Acker, Grünland
15	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	16	1995	Acker, Grünland
17	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	18	1995	Acker, Grünland
19	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	20	1995	Acker, Grünland
21	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	22	1995	Acker, Grünland
23	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	24	1995	Acker, Grünland
25	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	26	1995	Acker, Grünland
27	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	28	1995	Acker, Grünland
29	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	30	1995	Acker, Grünland
31	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	32	1995	Acker, Grünland
33	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	34	1995	Acker, Grünland
35	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	36	1995	Acker, Grünland
37	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	38	1995	Acker, Grünland
39	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	40	1995	Acker, Grünland
41	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	42	1995	Acker, Grünland
43	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	44	1995	Acker, Grünland
45	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	46	1995	Acker, Grünland
47	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	48	1995	Acker, Grünland
49	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	50	1995	Acker, Grünland
51	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	52	1995	Acker, Grünland
53	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	54	1995	Acker, Grünland
55	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	56	1995	Acker, Grünland
57	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	58	1995	Acker, Grünland
59	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	60	1995	Acker, Grünland
61	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	62	1995	Acker, Grünland
63	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	64	1995	Acker, Grünland
65	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	66	1995	Acker, Grünland
67	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	68	1995	Acker, Grünland
69	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	70	1995	Acker, Grünland
71	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	72	1995	Acker, Grünland
73	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	74	1995	Acker, Grünland
75	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	76	1995	Acker, Grünland
77	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	78	1995	Acker, Grünland
79	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	80	1995	Acker, Grünland
81	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	82	1995	Acker, Grünland
83	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	84	1995	Acker, Grünland
85	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	86	1995	Acker, Grünland
87	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	88	1995	Acker, Grünland
89	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	90	1995	Acker, Grünland
91	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	92	1995	Acker, Grünland
93	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	94	1995	Acker, Grünland
95	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	96	1995	Acker, Grünland
97	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	98	1995	Acker, Grünland
99	Märkisch-Oderland	1995	Acker, Grünland	100	1995	Acker, Grünland



## Einfluss von Boden und Landnutzung auf Sickerwasserbildung und Stoffaustrag



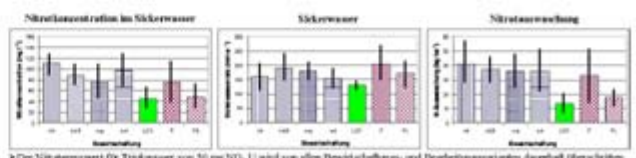
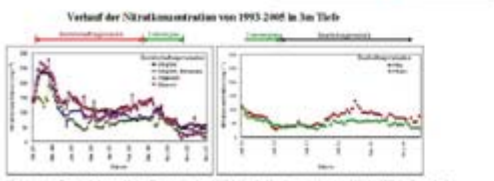
Die höchsten jährlichen Sickerwassererträgen wurden im Mittel der Jahre unter Acker (175 mm a<sup>-1</sup>) und Grasbeete (174 mm a<sup>-1</sup>) auf Sandstandorten gemessen. Die Unterschiede in den einzelnen Beobachtungsjahren waren jedoch groß und erreichten unter Acker von 83 mm a<sup>-1</sup> im trockensten Jahr 1996 bis 420 mm a<sup>-1</sup> im nassen Jahr 2002.  
 Auf den Lehmböden waren die mittleren Sickerwasserhöhen mit 122 mm a<sup>-1</sup> gegenüber den sandigen Ackerstandorten signifikant geringer.  
 Der geringste Sickerwasserfluss wurde jedoch auf den Waldstandorten in Märkisch-Oderland und der Uckermark (Gefir, 15 mm a<sup>-1</sup>, Buche, 17 mm a<sup>-1</sup>) erreicht. Die Unterschiede waren signifikant im Vergleich zu Acker auf Sand- und Lehmböden sowie Grasbeete.  
 Die Stickstoffträge waren im Mittel der Jahre auf sandigen Ackerstandorten mit 25 kgN ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> nur geringfügig höher als auf Lehmböden (21 kgN ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Unter Wald (0,5 kgN ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) und unter Grasbeete (1,8 kgN ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) war die Stickstoffträge gegenüber Ackerstandorten signifikant geringer.

## Einfluss von Bewirtschaftung und Bearbeitung auf den Bodenwasser- und Stoffhaushalt

Versuchsfeld Münchberg (11):  
 1993-1998: Prüfung der Bewirtschaftungsvarianten: integriert, integriert mit Düngeung, organisch, extensiv  
 1999-2006: Luettgenproben als Überwachungsplan  
 2001-2006: Prüfung der Bewirtschaftungsvarianten Pflanz und pflanzlos



Die höchsten Erträge wurden unter integrierter Bewirtschaftung mit Düngeung erzielt, die geringsten Erträge (weniger als die Hälfte im Vergleich zur integrierten Bewirtschaftung) wurden unter organischem Landbau erzielt.  
 Pflanz und pflanzlose Bewirtschaftung unterscheiden sich nicht signifikant hinsichtlich Düngung und Ertrag.



Der Nitratgehalt der Grundwasser von 50 mg NO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup> wird von allen Bewirtschaftungs- und Bearbeitungsvarianten dauerhaft überschritten.  
 Hinsichtlich Nitratkonzentration unterscheiden sich die Bewirtschaftungsvarianten nur geringfügig. Trotz deutlich höherer Stickstoffdüngung auf der integrierten Variante mit Düngeung gegenüber dem organischen Landbau war die Nitratkonzentration annähernd gleich.  
 Die Pflanzvariante unterschied gegenüber der pflanzlosen Variante höhere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und höhere Nitratverluste. Mischungsvarianten wurden als Hauptgrund für diese Unterschiede vermutet.

## Schlussfolgerungen

- Die Hypothese wurde bestätigt, dass Ackerernährung die wesentliche Quelle für Tiefensickerung und Grundwasserneubildung in Nordostdeutschland ist.
- Es zeigte sich, dass Düngeung ein wesentlicher Faktor zur Ertragssteigerung bei gleichzeitiger Minderung der Stoffausträge sein kann.
- Die Minderung der Sickerwasserbildung unter Wald muss in niederschlagsarmen Regionen bei der Landnutzungsplanung berücksichtigt werden.



# Langfristige Lysimeteruntersuchungen in Oberösterreich

K. Seltenhammer

WASSERWIRTSCHAFT, GRUND- UND TRINKWASSERWIRTSCHAFT  
Amt der Oö. Landesregierung  
Kärntnerstraße 12  
A - 4021 Linz

Der Einfluss des Standortes und der Bewirtschaftung auf die Nitratauswaschung des Sickerwassers unter Ackerflächen wurde an drei unterschiedlichen Lysimeterstandorten in Oberösterreich unter Mitarbeit des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt und von wpa Beratende Ingenieure GmbH untersucht. Dabei wurde eine praxisnahe Bewirtschaftung angestrebt, mit der ein Nitratgehalt im Sickerwasser erreicht wird, der unter dem Grundwasserschwellenwerten von 45 mg/l liegt.

Die Lysimeter wurden an einem seichtgründigen Standort in Weißkirchen – Pucking (L4) und zwei tiefgründigen Standorten in der Oberen Pettenbachrinne installiert, wobei je ein Standort mit Wirtschaftsdünger (L1) und einer mit Mineraldünger (L3) bewirtschaftet wurde. Die Nitratauswaschung wurde über einen Zeitraum von 12 Jahren beobachtet.

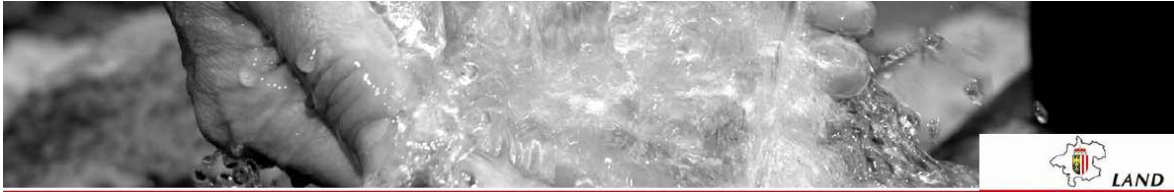
Am seichtgründigen Standort sind die Nitratauswaschung und die Konzentration im Sickerwasser zwei- bis dreimal höher als auf den tiefgründigen Standorten, obwohl das Düngenniveau auf diesem Standort niedriger liegt und als moderat bezeichnet werden muss. Im gesamten Untersuchungszeitraum 1995 - 2006 lag die Nitratkonzentration am seichtgründigen Standort nur 1 x unter dem Grundwasserschwellenwert von 45 mg/l, obwohl die Düngemaßnahmen nahezu ausschließlich im Bereich der Empfehlungen der Richtlinien zur Sachgerechten Düngung bzw. darunter lagen. Trotzdem war die Nitratauswaschung auf diesem Standort höher als auf den tiefgründigen Standorten, auf denen teilweise auch höhere Düngegaben verabreicht wurden, als in den Richtlinien empfohlen. Eine Düngung entsprechend den Empfehlungen der Richtlinien zur Sachgerechten Düngung, verringerte im Durchschnitt die Nitratauswaschung und Nitratkonzentration im Sickerwasser gegenüber einem höheren Düngenniveau um 11,2 kg N/ha (49 %) (L1 und L3).

Eine Herbst- und Winterbegrünung wirkt sich positiv auf die Nitratauswaschung aus. Auf allen 3 Standorten ist in jenen Jahren in denen eine Herbst- oder Winterbegrünung angebaut wurde, die Nitratauswaschung im Mittel geringer als in Jahren, in denen keine Zwischenfrüchte angebaut wurden (L1: 4,19 kg N/ha, 18,5 %, L3: 0,32 kg N/ha, 3 %, L4: 13,5 kg N/ha, 27,8 %).

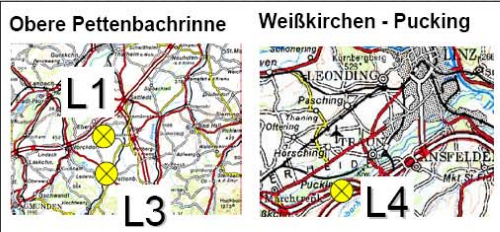
Ungünstig wirkt sich hingegen der Umbruch einer Grünbrache (GB) im Herbst aus: Nach dem Umbruch der Grünbrache kam es stets zu einem starken Anstieg der Nitratauswaschung. Der mineralisierte Stickstoff konnte von der Folgekultur Wintergerste nicht im vollen Umfang verwertet werden. Eine zusätzlich stattfindende Herbstdüngung, wie sie teilweise beim Standort mit Wirtschaftsdünger stattfand, um die Güllelagerstätte vor dem Winter nochmals zu leeren, erhöhte nochmals die Nitratauswaschung.

Das Amt der Oö. Landesregierung, Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft brachte sich aktiv in die Diskussion zur Gestaltung der Gewässerschutzmaßnahmen im kommenden ÖPUL ein, wobei die Lysimeteruntersuchungen eine wertvolle Grundlage bildeten. Aus Sicht der Grund- und Trinkwasserwirtschaft konnte Folgendes erreicht werden:

- Stickstoffbilanzierungsmaßnahmen, mit denen der Bedarf am Schlag besser an die tatsächlichen Entzüge angepasst werden können, werden in Zukunft verstärkt gefördert.
- Eine Mindestbegrünung ist für Teilnehmer an Gewässerschutzmaßnahmen auch in Zukunft verpflichtend, zusätzliche Begrünungen werden abgegolten.
- Für die Stilllegung auswaschungsgefährdeter Ackerflächen (z.B. seichtgründige Böden) gibt es attraktive Prämien.



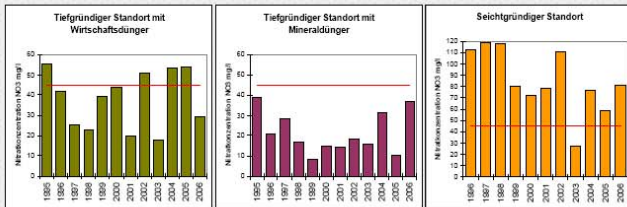
# Langfristige Lysimeteruntersuchungen in OÖ



Ziel des Forschungsprojekts ist es, unter Praxisbedingungen die Einflüsse des Standorts und der Bewirtschaftung auf die Nitratbefrachtung des Sickerwassers unter Ackerflächen zu untersuchen. Dabei wird eine Bewirtschaftungsweise angestrebt, mit der ein Nitratgehalt im Sickerwasser erreicht wird, der unter dem Grundwasserschwellenwert von 45 mg/l liegt.

An 3 Standorten mit unterschiedlicher Bewirtschaftung und unterschiedlichen Standorteigenschaften in Oberösterreich wurden Lysimeter installiert:

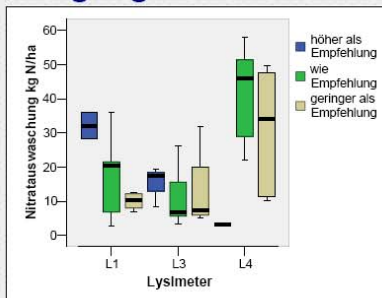
- L1 Tiefgründiger Standort mit Wirtschaftsdünger
- L3 Tiefgründiger Standort mit Mineraldünger
- L4 Seichtgründiger Standort



Im gesamten Untersuchungszeitraum 1995 - 2006 lag die Nitratkonzentration am seichtgründigen Standort nur 1 x unter dem Grundwasserschwellenwert von 45 mg/l.

Ein Vergleich der Standorte ergibt eine doppelt bis 3-fach so hohe Nitratauswaschung am seichtgründigen Standort gegenüber den tiefgründigen Standorten.

## Düngung

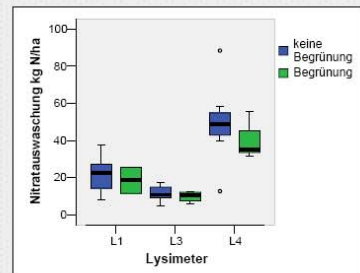


Eine Düngung entsprechend den Empfehlungen der Richtlinien zur Sachgerechten Düngung (BMLFUW, 6. Auflage, 2006), verringert die Nitratauswaschung und Nitratkonzentration im Sickerwasser.

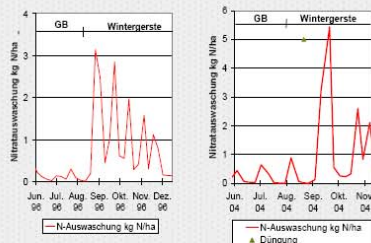
Die Düngemaßnahmen am seichtgründigen Standort (L4) lagen nahezu ausschließlich im Bereich der Empfehlungen der Richtlinien zur Sachgerechten Düngung (BMFLUW, 6. Auflage, 2006) bzw. darunter. Trotzdem war die Nitratauswaschung auf diesem Standort höher als auf den tiefgründigen Standorten, auf denen teilweise auch höhere Düngegaben verabreicht wurden, als in den Richtlinien empfohlen.

## Begrünung

Auf allen 3 Standorten ist in jenen Jahren in denen eine Herbst- oder Winterbegrünung angebaut wurde, die Nitratauswaschung im Mittel geringer als in Jahren, in denen keine Zwischenfrüchte angebaut wurden!



## Weitere Bewirtschaftungseinflüsse



Ungünstig wirkt sich der Umbruch einer Grünbrache (GB) im Herbst aus: Nach dem Umbruch der Grünbrache kam es stets zu einem starken Anstieg der Nitratauswaschung. Der mineralisierte Stickstoff konnte von der Folgekultur Wintergerste nicht im vollen Umfang verwertet werden. Zusätzlich fand 2004 auch eine Düngung statt, die die Nitratauswaschung nochmals erhöhte.

### Impressum:

Medieninhaber: Land Oberösterreich  
 Herausgeber: Amt der Oö. Landesregierung, Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, Kärntnerstraße 12, 4021 Linz  
 E-Mail: [karl.seltenhammer@ooe.gv.at](mailto:karl.seltenhammer@ooe.gv.at); Autor: Dipl.-Ing. Karl Seltenhammer



# **N<sub>min</sub>, P, K, Ca, Mg and S Amount in Lysimeters Water of Grassland Unmanaged on Crop**

J. Fiala

Research Institute of Crop Production Praha-Ruzyne  
Grassland Research Station Liberec  
Rolnická 6  
460 01 Liberec 11, Cz

In the non-fertilized grassland, in the years 2001-2005, was controlled the impact of various rate of mulching and green fallow land on seepage of precipitation and amount of elements in lysimeters water in depth 0,4m.

We proceed with the hypothesis that a disturbance of the ecological stability of grasslands, not used for forage, is caused first of all by a high accumulation of grass biomass and a change of botanical composition. The consequence is then the worsening of the quality of underground water. The objective of this project is to find out the interannual increase of dead plant biomass and its influence on the amount of N<sub>min</sub> and basic macroelements in lysimetric waters.

To the depth 0,4m were infiltrated on average per ha 2,41kg N<sub>min</sub>, 0,26kg P, 2,90kg K, 8,90kg Ca, 0,93kg Mg, and 2,45kg S.

A correlative dependency of N<sub>min</sub> in depth 0.4 m on the weight of the above-ground biomass was positive but very low ( $r = 0.006$ , at  $P < 0.05$ ). The leakage of rainfall had a far bigger influence on the amount of N<sub>min</sub> in the lysimetric waters. The correlation here is  $r = 0.186$ . Kopec (1993) and also discovered cambisol 5-6 kg of N in unmanaged grasslands. If we take into consideration that in an above-ground biomass of unmanaged grassland there is 57-100 kg of N/ha fixed. (Fiala 1994, Úlehlová 1989), then after an intrinsic mineralization of this matter only a small amount infiltrates and thus does not endanger underground waters.

The amount of P in lysimetric waters at a depth of 0.4m in comparison with N<sub>min</sub>, increased in all forms of farming. The average annual increase was only 0.05 kg of P/ha, which is, however, 25% in comparison with the original amount. There were no statistically significant differences in comparison with the control here. On average, this was at a depth of 0.4m was 0.26 kg of P/ha. This is 5x the statement assessed by Kopec (1993), however, it is equivalent to the values in lysimetric waters under unmanaged grasslands in cambisol (Eder 1991). The dependency of the amount of P on above-ground biomass is positive, however low ( $r = 0.022$ , at  $P < 0.05$ ). Potassium infiltrated, on average, at a depth of 0.4m, 2.90 kg/ha. Kopec (1995) measured 5.00 kg. Per a 5 year average, calcium was measured in lysimetric waters at 8.90 kg/ha. Kopec (1993) measured at the depth of 1 m even 120.00 kg, Mareš and Královec (2003) measured the decline of material at 9.60 and at green fallow at 6.70 kg/ha. Magnesium washed out on average at a depth of 0.4m 0.93 kg/ha and sulphur 2.45 kg/ha. Mulching grassland is not a menace to ground water with rinsed minerals. After a five year period, a disturbance of the ecological stability of grassland did not occur.

## **References**

- KOPEC S. (1993): The influence of grassland and arable land on the leakage of nutrients in Polish Karpaten. In: Proc. 3th Gumpensteiner lysimeter day, Gumpenstein, (A): 49-52.
- FIALA J., TICHÝ V. (1994): Production ability and persistence of herbage varieties of grasses. Rostl. Výr., 40: 1005-1014.
- Úlehlová B. (1989): Nitrogen cycle in grass ecosystems. Academia Praha: 26-42.

Eder G. (1991): The leakage of N and P in grasslands. In: Proc. Gumpersteiner lysimeter day, Gumpenstein, (A): 45-51.

MAREŠ R., KRÁLOVEC J. (2003): The loss of nitrogen due to leakage with a high intensity of nitrogen fertilization. In: Proc. 10<sup>th</sup> Gumpersteiner lysimeter day, Gumpenstein, (A): 215-216.

## Nmin, P, K, Ca, Mg a S Amount in Lysimeters Water of Grassland Unmanaged on Crop.

J.Fiala

*Research Institute of Crop Production Praha-Ruzyne, Grassland Research Station  
Liberec, the Czech Republic*

### Treatments:

1. control (2x cutting, 30.5 -10.6. and 10 -20.8., material removed)
2. green fallow (left without cutting)
3. rotation of fallow with mulching (1st year fall., 2nd year mulching 2x 30.5 – 10.6. and 10 -20.8.)
4. rotation of fallow with harvest (1st year fallow, 2nd year 1x cut 15.7., material removed)
5. rotation of mulching with harvest (1st year mulching 2x, 2nd year 1x cutting 15.7., material removed)
6. mulching 1x (25.5., material left)
7. mulching 1x (15.7., material left)
8. mulching 1x (25.9., material left)
9. mulching 2x (30.5 -10.6. and 10 -20.8., material left)
10. mulching 3x (25.5., 15.7., 25.9., material left)

Figure 1. Leakage of rainfall at a depth of 0.4m per annum, average 2001-2005

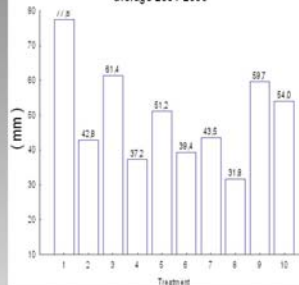


Figure 2. Amount of mineral nitrogen at a depth of 0.4m

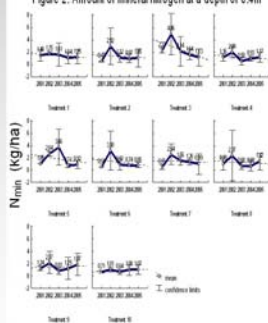


Figure 4. Amount of K at a depth of 0.4m

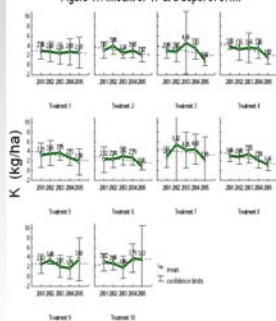


Figure 6. Amount of Mg at a depth of 0.4m

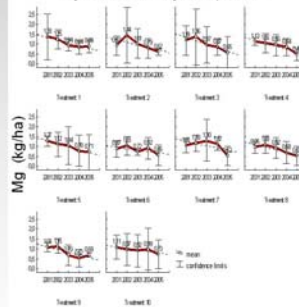


Figure 3. Amount of P at a depth of 0.4m

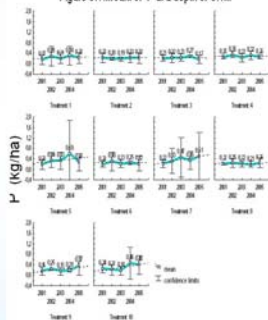


Figure 5. Amount of Ca at a depth of 0.4m

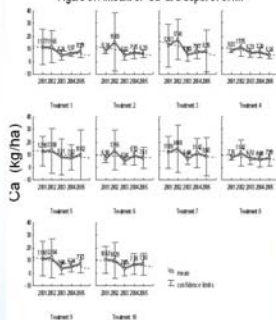
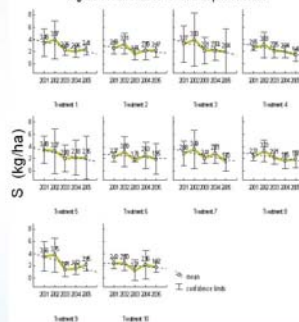


Figure 7. Amount of S at a depth of 0.4m



### Results

Only 4-10% of precipitation percolated into the depth of 0.4m but this had an important impact on leaching of Ca, Mg, and S. The seepage of water had a bigger impact on Nmin, P, K, Ca, Mg and S than above-ground biomass. Except phosphorus, where the average year accretion was only 0.05 kg P/ha during five years, other elements brought the descending tendency. To the depth 0.4m were infiltrated on average per ha 2.41 kg Nmin, 0.26kg P, 2.90kg K, 8.50kg Ca, 0.93kg Mg, and 2.45kg S. Among variants there was no important statistic difference. Mulching grassland is not a menace to ground water with rinsed minerals. After a five year period, a disturbance of the ecological stability of grassland did not occur.

# Influence of Agricultural Production on Nitrogen and Phosphorus Leaching In Eastern Croatia

D. Petošić

University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Department of Soil Amelioration, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

Agriculture is assigned to the category of diffuse sources of water and soil pollution. According to the data of the United Nations, Economic Commission for Europe (UN/ECE, 1992 and 1993), water pollution through agricultural production is caused by excessive and inexpert use of nitrogen and phosphorus fertilizers. The main goal of this study was to assess the extent of influence of traditional agricultural production in Eastern Croatia upon nitrogen and phosphorus leaching, and thereby also on the pollution of percolating and ground waters in this region.

Investigations were carried out in Eastern Croatia during a three-year period (2002-2004) (Fig. 1). The results obtained are based on lysimeter investigations using Zero Tension Pan Lysimeters (Fig. 2). Throughout the three-year period, quantities of leached nitrogen and phosphorus in percolated water (percolate) from lysimeters were analyzed in traditional production of major crops (maize, wheat, alfalfa and natural meadow). Investigations were conducted on four separate locations. On locations 1. and 4., the same crop was grown in the three research years – alfalfa and natural meadow, respectively. On locations 2 and 3, wheat or maize was grown, in dependence on the crop rotation.

Indicators of three-year research results are concisely presented in Tables 1-4 (poster). Analysis of the obtained indicators shows that nitrogen and phosphorus fertilization varied in particular research years for monitored locations and crops grown. Thus, alfalfa (location 1.) was fertilized with nitrogen and phosphorus amounts ranging from 90-105 kg N/ha and 70-100 kg P/ha. Fertilization of the other crops grown ranged as follows: wheat (130-185 kg N/ha + 75-90 kg P/ha), maize (185-240 kg N/ha + 80-105 kg P/ha), and natural meadow (150-220 kg N/ha + 50-70 kg P/ha). Annual sum of precipitation varied in the range from 483 mm (dry 2003) to 956 mm (humid 2004). Amounts of percolated water (percolate) on studied locations ranged from minimal 109 mm on location 1. (alfalfa) in 2003 to maximal 255 mm on location 3. (maize) in 2004. Concentrations of total nitrogen (mg N/l) in percolated water (percolate) from lysimeters varied in dependence on fertilization and crop grown as follows: alfalfa (5.70-6.40), wheat (9.13-12.1), maize (15.00-21.15), and meadow (4.11-5.30). Phosphorus concentrations (mg P/l) ranged as follows: alfalfa (0.15-0.19), wheat (0.18-0.25), maize (0.21-0.35) and meadow (0.12-0.17).

Amounts of nitrogen leached through percolated water from lysimeters ranged from minimal 6.31 kg N/ha for natural meadow (2002) to maximal 38.30 kg N/ha for maize (2004).

Amounts of phosphorus leached ranged from minimal 0.16 kg P/ha for natural meadow (2002) to maximal 0.66 kg P/ha for maize (2004).

In the three-year mean, most of nitrogen and phosphorus was leached during a year in maize production (31.96 kg N/ha and 0.50 kg P/ha), followed by wheat (17.99 kg N/ha and 0.34 kg P/ha), alfalfa (8.30 kg N/ha and 0.23 kg P/ha) and natural meadow (7.44 kg N/ha and 0.22 kg P/ha).

The three-year (2002-2004) lysimeter investigations and the obtained indicators point to the conclusion that traditional agricultural production in Eastern Croatia constitutes a potential danger of strong groundwater pollution by nitrogen and its slight pollution by phosphorus.

# INFLUENCE OF AGRICULTURAL PRODUCTION ON NITROGEN AND PHOSPHORUS LEACHING IN EASTERN CROATIA

D. Petošić

University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Department of Soil Amelioration, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

## INTRODUCTION AND RESEARCH GOAL

Agriculture is assigned to the category of diffuse sources of water and soil pollution. Water pollution through agricultural production is caused by excessive and inexpert use of nitrogen and phosphorus fertilizers. The main goal of this study was to assess the extent of influence of traditional agricultural production in Eastern Croatia upon nitrogen and phosphorus leaching, and thereby also on the pollution of percolating and ground waters in this region.

## METHODS

Investigations were carried out in Eastern Croatia during a three-year period (2002-2004) (Fig. 1). The results obtained are based on lysimeter investigations using Zero Tension Pan Lysimeters (Fig. 2). Throughout the three-year period, quantities of leached nitrogen and phosphorus in percolated water (percolate) from lysimeters were analyzed in traditional production of major crops (maize, wheat, alfalfa and natural meadow).



Figure 1.: Area of exploration

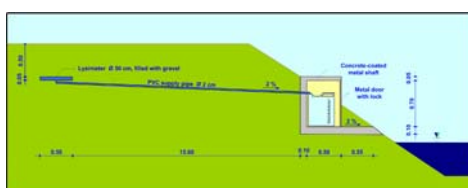


Figure 2.: Schematic illustration of lysimeter (Zero Tension Pan Lysimeter)

## RESULTS AND DISCUSSION

Results on the mean values of three-year investigations (Table 4) show the following nitrogen and phosphorus fertilization applied to the crops grown according to locations: 1. alfalfa 98 kg N/ha + 82 kg P/ha, 2. wheat 155 kg N/ha + 77 kg P/ha, 3. maize 212 kg N/ha + 92, kg P/ha and natural meadow 185 kg N/ha + 60 kg P/ha.

The average annual sum of precipitation in the three-year period (2002-2004) amounted to 694 mm. Average annual values of percolated water (percolate) in lysimeters according to the studied locations and crops grown were as follows: location 1. (alfalfa) 145 mm, location 2. (wheat) 164 mm, location 3. (maize) 185 mm, and location 4. (natural meadow) 160 mm. Mean values of total nitrogen concentrations in mg N/l in percolated water (percolate) from lysimeters on monitored locations were: Locations 1. (5.73), 2. (10.97), 3. (17.28) and 4. (4.65). The following average values of phosphorus concentrations were also calculated (mg P/l): locations 1. (0.16), 2. (0.21), 3. (0.27) and 4. (0.14). Quantities of leached nitrogen ranged from minimal 6.31 kg N/ha (natural meadow) to maximal 38.3 kg N/ha (maize).

Poor leaching of phosphorus was recorded for the crops grown during the three-year investigations, with the values ranging from 0.16 kg P/ha (meadow) to maximal 0.66 kg P/ha (maize).

Table 1: Indicators of research results in 2002

Location	Crop grown	Fertilization kg/ha		Annual sum of precipitation mm	Quantity of percolated water (percolate) mm	Mean concentrations in percolate (mg/l)		Leached (kg/ha)	
		N	P			N	P	N	P
1.	Alfalfa	100	100	642	114	5.70	0.15	6.49	0.17
2.	Wheat	150	75	642	126	11.26	0.20	14.21	0.22
3.	Maize	210	90	642	164	15.76	0.25	25.74	0.27
4.	Meadow	185	50	642	139	4.54	0.12	6.31	0.16
Mean		180	76	642	137	9.41	0.22	13.43	0.21

Table 2: Indicators of research results in 2003

Location	Crop grown	Fertilization kg/ha		Annual sum of precipitation mm	Quantity of percolated water (percolate) mm	Mean concentrations in percolate (mg/l)		Leached (kg/ha)	
		N	P			N	P	N	P
1.	Alfalfa	100	75	483	109	6.40	0.19	6.97	0.20
2.	Wheat	150	70	483	126	12.15	0.21	20.76	0.28
3.	Maize	210	80	483	122	12.16	0.28	14.78	0.24
4.	Meadow	185	70	483	120	5.20	0.17	6.26	0.20
Mean		169	79	483	122	11.23	0.19	14.21	0.23

Table 3: Indicators of research results in 2004

Location	Crop grown	Fertilization kg/ha		Annual sum of precipitation mm	Quantity of percolated water (percolate) mm	Mean concentrations in percolate (mg/l)		Leached (kg/ha)	
		N	P			N	P	N	P
1.	Alfalfa	90	70	956	210	5.28	0.15	10.86	0.21
2.	Wheat	150	70	956	200	9.23	0.18	23.91	0.40
3.	Maize	182	105	956	251	15.60	0.26	39.28	0.66
4.	Meadow	150	60	956	221	4.11	0.13	9.06	0.28
Mean		139	78	956	232	8.23	0.18	20.8	0.42

Graph 1. Mean annual amounts of phosphorus (P) leached with percolated water (percolate) from lysimeters in the period 2002-2004

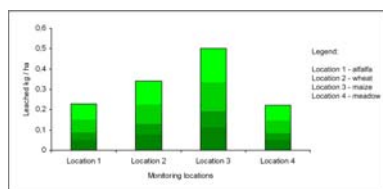
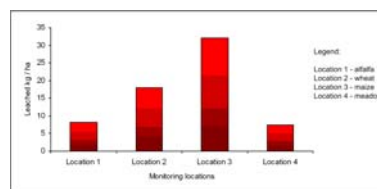


Table 4: Indicators of research results (mean values) in the period 2002-2004

Location	Crop grown	Fertilization kg/ha		Annual sum of precipitation mm	Quantity of percolated water (percolate) mm	Mean concentrations in percolate (mg/l)		Leached (kg/ha)	
		N	P			N	P	N	P
1.	Alfalfa	98	82	694	145	5.73	0.16	8.30	0.23
2.	Wheat	155	77	694	164	10.97	0.21	17.99	0.34
3.	Maize	212	92	694	185	17.28	0.27	31.96	0.58
4.	Meadow	185	60	694	160	4.65	0.14	7.44	0.22
Mean		183	78	694	164	9.65	0.20	16.42	0.32

Graph 2. Mean annual amounts of total nitrogen (N) leached with percolated water (percolate) from lysimeters in the period 2002-2004



## CONCLUSION

The three-year (2002-2004) lysimeter investigations and the obtained indicators point to the conclusion that traditional agricultural production in Eastern Croatia constitutes a potential danger of strong groundwater pollution by nitrogen and its slight pollution by phosphorus.

MMM LYSIMETER CONFERENCE, JANUARY 27-30, 2007, GRAZ

# Leaching Losses under Conventional and Organic Management in Humid Regions

W. Hein/H. Waschl

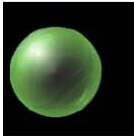
HBLFA Raumberg-Gumpenstein – Agricultural Research and Education Centre  
Institute for Organic Farming and Farm Animal Biodiversity  
Department for Organic Arable Farming  
Raumberg 38  
A-8952 Irdning – Austria

Organic farming plays an important role in Austria both for grassland-farming and for arable farming. Although the management by organic farming is said to be more environmentally compatible than the conventional farming there are only few data available about leaching losses with different types of management. Leaching losses of different levels of intensity for fertilization can be measured by lysimeters. In the eastern parts of Austria it is difficult to gain seepage water because of the lack on precipitation. In the western parts of Austria, the humid regions, there was situated a lysimeter station at Winklhof where the leaching losses in a combined crop-rotation and fertilizing field trial are measured in comparison of organic and conventional farming.

A field trial was built in the year 2001 on a branch of the HBLFA at Winklhof which is located on the point of intersection between the main production region of the high Alps and the pre-alpine region. The soil type is brown soil without lime in the AB-horizons, in greater depth there is much lime. A high percentage of coarse-grained material is very good suitable for gravitation lysimeter-station. The crop rotation was adapted as well as possible to the climatic conditions and contains the following crops: summer-wheat with red-clover-grass/red-clover-grass/red-clover-grass/winter-wheat/summer-barley/potatoes. The intensity for fertilization contains two steps, the lower with 1,0 LU/ha, the higher one with 1,8 LU/ha. The lower intensity has the system stable manure and liquid manure. At the higher intensity the manure is given in organic and mineral form. All treatments during the vegetation period are according the regulations on organic agriculture of the EC. To measure the leaching losses a lysimeter-station is used which contains 6 lysimeters and 6 ceramic suction cups. The station was planned by the experts of the Institute for Land and Water Management Research at Petzenkirchen.

The losses of nitrogen are of greatest importance – especially in front of the EC-nitrate-regulation. The other plant nutrients as phosphorus, potassium, magnesium and calcium are important, too, above all for plant production. Losses of plant nutrients can be decreased by a good production management and reduced fertilization. This project shows that the losses are less by organic farming than by conventional farming. The seepage water is about 70% of the precipitation which is 1400 mm on average. The deviation in precipitation is very high as can be seen in the two extreme years 2002 and 2003. The leaching losses are of varying size with the different plant nutrients. The relevant amounts which are taken in the plants are not calculated in the nutrient's balance.

It can be seen that the management, the crops and the manure as well have great influence on the leaching losses of plant nutrients. Distinctly the curves of nitrate reflect all movements which are done during the vegetation period in the fields; especially when the potatoes are heaped up. Also all amounts of manure can be recognized in the curves of nitrate.



# Leaching losses under conventional and organic management in humid regions

W. HEIN and H. WASCHL

## Problem definition:

Organic farming is of great importance in Austria as well as for grassland-farming and for arable farming. Although organic management is said to be more compatible to environment than conventional farming there are only a few data available about leaching losses with different types of management. Leaching losses of different levels of intensity for fertilization can be measured by lysimeters. In the eastern parts of Austria it is difficult to gain seepage water because of the lack of rainfall. In the western parts of Austria, the humid regions, a lysimeter station was situated at Winklhof where the leaching losses of a combined crop-rotation and fertilizing field trial are measured in comparison of organic and conventional farming.

## Methods:

The field trial was built in the year 2001 on a branch of the HBLFA Raumberg-Gumpenstein at Winklhof, which is located on the point of intersection between the main production region of the high alps and the pre-alpine region.

The soil type is brown-soil without lime in the A/B-horizon. From the B/C horizon down to bedrock the percentage of coarse-grained material is relatively high so it is very good suitable for such a lysimeter-station.

The crop-rotation was adapted as well as possible to the climatic conditions and has the following crops: summer-wheat with red-clover-grass/red-clover-grass/winter-wheat/summer-barley/potatoes. The intensities for fertilization contain two steps, the lower with 1,0 LU/ha, the higher one with 1,8 LU/ha. The lower intensity has the system stable manure and liquid manure. At the higher intensity fertilizer is given only organic as well as in combination with mineral fertilizers. All treatments during the vegetation period are done after the regulations of the EC for organic farming.

To measure the leaching losses a lysimeter-station is used which contains 6 lysimeters and 6 ceramic suction cups. The station was planned by the experts of the Institute for Land and Water Management Research in Petzenkirchen. The lysimeters are so-called "filled gravitation-lysimeters" which are best suitable for such purposes.

## Results:

The leaching losses of nitrogen are most important, especially with regard to the EC-nitrate-regulation. All other plant nutrients are important in connection with all questions about plant production. Losses of plant nutrients by leaching can be decreased by a good management and reduced fertilization. Normally the leaching losses of organic farming are lower than of conventional farming as can be shown with this field trial.

The seepage water is about 70% of the yearly rainfall which is 1400 mm on average. The deviation in yearly rainfall can be seen clearly in the extreme years 2002 and 2003. The leaching losses are of varying size with the different plant nutrients.

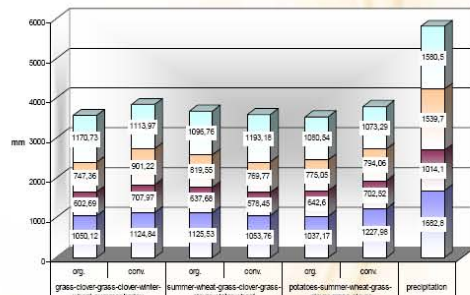


Figure 1: Seepage water of the lysimeters

www.raumberg-gumpenstein.at

Table 2: Nitrate concentration

nitrate (mg/l)	rog-rcg-ww-sb		sw-rcg-rcg-ww		pot-sw-rcg-rcg	
	org.	conv.	org.	conv.	org.	conv.
gravitation-lysimeter						
2002	57,81	45,48	69,70	57,63	54,75	91,07
2003	45,53	30,72	11,17	6,27	34,81	56,28
2004	51,30	57,88	7,58	10,48	5,28	4,16
2005	58,85	54,33	30,32	37,13	23,15	11,46
ceramic suction cup						
2002	58,48	109,49	42,35	72,18	52,31	87,53
2003	56,16	128,84	41,44	45,14	39,89	51,64
2004	33,25	89,42	34,64	93,84	29,42	41,87
2005	14,99	16,97	37,69	42,35	49,83	60,73
EC-limit	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00

Table 1: Crop rotation of the lysimeters

variants	2002 crop	2003 crop	2004 crop	2005 crop	2006 crop
lys. 1 org.	red-clover-grass	red-clover-grass	winter-wheat	summer-barley	potatoes
lys. 2 org.	summer-wheat	red-clover-grass	red-clover-grass	winter-wheat	summer-barley
lys. 3 org.	potatoes	summer-wheat	summer-wheat	red-clover-grass	winter-wheat
lys. 4 conv.	red-clover-grass	red-clover-grass	winter-wheat	summer-barley	potatoes
lys. 5 conv.	summer-wheat	red-clover-grass	red-clover-grass	winter-wheat	summer-barley
lys. 6 conv.	potatoes	summer-wheat	red-clover-grass	red-clover-grass	winter-wheat

intensity I						intensity II						intensity III											
101	102	103	104	105	106	201	202	203	204	205	206	301	302	303	304	305	306						
intensity III						intensity I						intensity II											
301	302	303	304	305	306	101	102	103	104	105	106	201	202	203	204	205	206						
intensity II						intensity III						intensity I											
201	202	203	204	205	206	301	302	303	304	305	306	101	102	103	104	105	106						
intensity I						intensity II						intensity III											
101	102	103	104	105	106	201	202	203	204	205	206	301	302	303	304	305	306						
ceramic suction cups						lysimeters						ceramic suction cups						lysimeters					

Figure 2: Field trial 2006





# Nutzung des Ökologischen Landbaus für den Trinkwasserschutz – das Fallbeispiel Niedersachsen

M. Szerencsits

Universität Kassel  
Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau  
Nordbahnhofstraße 1a  
D-37213 Witzenhausen - Germany

Der Ökologische Landbau verursacht in der Regel geringere Gewässerbelastungen als die konventionelle Landwirtschaft und zeichnet sich durch eine hohe Zielkonformität mit dem Wasserschutz aus. Die niedersächsische Wasserwirtschaftsverwaltung sah zudem durch Forschungsergebnisse und Pilotprojekte bestätigt, dass eine gezielte Ausdehnung möglich und ökonomisch sinnvoll ist. Deshalb fördert sie den Ökologischen Landbau seit dem Jahr 2001 gezielt in sämtlichen Trinkwassergewinnungsgebieten durch spezifische Ausgleichszahlungen und Projekte.

Zur Untersuchung der Frage, wie eine gezielte Ausdehnung des Ökologischen Landbaus am effektivsten erreicht werden kann, wurde ein transdisziplinärer Forschungsansatz gewählt. Auf der Basis bestehender Erkenntnisse und eigener Voruntersuchungen wurde gemeinsam mit niedersächsischen Partnern ein Wasserschutzprojekt konzipiert, beantragt und durchgeführt (Nähere Projektinformationen unter [www.h2oe.de](http://www.h2oe.de)). Im Zuge der Mitarbeit an diesem Projekt wurden bisher insgesamt 101 Landwirte interviewt und der Entscheidungsprozess der Landwirte über die Umstellung auf Ökologischen Landbau sowie die Bedeutung von informatorischen Maßnahmen in diesem Prozess untersucht. Mit den Befragungsergebnissen wurde unter Berücksichtigung psychologischer Grundlagen ein Phasenmodell der Umstellung auf Ökologischen Landbau abgeleitet und eine Systematik umstellungsrelevanter Faktoren erstellt. Zudem wurden die Ergebnisse genutzt, um die Gestaltung der Informations- und Beratungstätigkeit laufend zu verbessern. Ergänzend wurden mit Experten des Ökosektors die Bedingungen für eine gezielte Ausdehnung diskutiert.

In der praktischen Arbeit im Rahmen dieses Projektes zeigte sich, dass Maßnahmen zur gezielten Ausdehnung stets als Ergänzung und nicht als Ersatz oder Konkurrenz zu sonstigen Wasserschutzmaßnahmen zu sehen sind. Als besonders bedeutsam erwies sich die Einbeziehung von vorhandenen Ökolandwirten in die Projektarbeit. Denn einerseits können ihre Wasserschutzleistungen optimiert und die Effekte für den Wasserschutz nachgewiesen werden und andererseits waren diese Landwirte durchwegs zur Zusammenarbeit mit umstellungsinteressierten Landwirten bereit. Dadurch konnten sie diesen in vielen Fragen der Umstellung Sicherheit vermitteln und das Vertrauen in die praktische Durchführbarkeit verbessern. Zudem erwies sich die Anpassung der Vorgehensweise an die Marktentwicklung als vorteilhaft. Denn eine Erhöhung des Absatzes von Ökoprodukten, die vor allem regionalen Erzeugern zu gute kommt, ist durch Projekte nur in beschränktem Maße bzw. mit hohem Aufwand möglich. Motivierende Aktivitäten zur Förderung der Umstellung sind deshalb sinnvollerweise auf Phasen günstiger Marktentwicklung zu konzentrieren. In der übrigen Zeit können interessierte Landwirte bei der Vorbereitung der Umstellung und Ökolandwirte bei der Optimierung ihrer Wasserschutzleistungen unterstützt werden.

Abschließend kann aus den Ergebnissen gefolgert werden, dass eine gezielte Ausdehnung des Ökologischen Landbaus sinnvoll und machbar ist. Mit einer Vorgehensweise, die an die Entwicklung des Ökomarktes sowie die Anforderungen der Landwirte in den verschiedenen Phasen der Umstellung angepasst wird und die sicherstellt, dass Landwirte im Falle einer Umstellung keine Einkommenseinbußen in Kauf nehmen müssen, kann die Ausdehnung des Ökologischen Landbaus in Gebieten mit besonderem Schutzinteresse konzentriert und dadurch in nachhaltiger Weise Trinkwasserschutz in der Landwirtschaft verankert werden.

# Nutzung des Ökologischen Landbaus für den Trinkwasserschutz – das Fallbeispiel Niedersachsen

## Landesweite Integration des Ökologischen Landbaus in den Trinkwasserschutz durch



Nach Verordnung (EG) Nr. 1257/1999

Arbeitsgemeinschaft Wasserschutz - Ökologischer Landbau

### Ergebnisse der praktischen Arbeit von H<sub>2</sub>O

- Maßnahmen zur gezielten Ausdehnung sind stets als Ergänzung und nicht als Ersatz oder Konkurrenz zu sonstigen Wasserschutzmaßnahmen zu sehen.
- Als besonders bedeutsam erwies sich die Einbeziehung von vorhandenen Ökolandwirten in die Projektarbeit. Denn einerseits können ihre Wasserschutzleistungen optimiert und die Effekte für den Wasserschutz nachgewiesen werden und andererseits waren diese Landwirte durchwegs zur Zusammenarbeit mit umstellungsinteressierten Landwirten bereit. Dadurch konnten sie diesen in vielen Fragen der Umstellung Sicherheit vermitteln und das Vertrauen in die praktische Durchführbarkeit verbessern.
- Die Anpassung der Vorgehensweise an die Marktentwicklung erwies sich als vorteilhaft. Denn eine Erhöhung des Absatzes von Ökoprodukten, die vor allem regionalen Erzeugern zu gute kommt, ist durch Projekte nur in beschränktem Maße bzw. mit hohem Aufwand möglich. Motivierende Aktivitäten zur Förderung der Umstellung sind deshalb sinnvollerweise auf Phasen günstiger Marktentwicklung zu konzentrieren. In der übrigen Zeit können interessierte Landwirte bei der Vorbereitung der Umstellung und Ökolandwirte bei der Optimierung ihrer Wasserschutzleistungen unterstützt werden.

### Entscheidungsprozess über die Umstellung auf Ökologischen Landbau

Rückkoppelung zwischen Wahrnehmung, Bewertung und Interesse



### Zweidimensionales Phasenmodell der Umstellung

abgeleitet vom Modell über den Innovationsentscheidungsprozess (ROGERS 1995: 161 ff.) und ergänzt durch Erkenntnisse aus eigenen empirischen Untersuchungen (ROGERS E. M. (1995): Diffusion of innovations. New York: Free Press.)



Im Gegensatz zum eindimensionalen Phasenmodell der individuellen Übernahme von Innovationen wird für die Umstellung ein zweidimensionales Modell vorgeschlagen. Bei diesem wird entlang der Abszisse anhand des Informations- und Kenntnisstandes bzw. der gesammelten Erfahrungen mit dem Ökologischen Landbau eine Einteilung in fünf Phasen vorgenommen. Auf der Ordinate wird das Interesse bzw. die Haltung gegenüber dem Ökologischen Landbau abgebildet und zur Definition von vier Status (aktiv, offen, passiv, ablehnend) innerhalb der Phasen herangezogen. Landwirte setzen sich nur in den Status aktiv und offen mit neuen Informationen auseinander und wechseln in der Folge in eine höhere Phase.

### Einleitung

Der Ökologische Landbau verursacht in der Regel geringere Gewässerbelastungen als die konventionelle Landwirtschaft und zeichnet sich durch eine hohe Zielkonformität mit dem Wasserschutz aus. Die niedersächsische Wasserwirtschaftsverwaltung sah zudem durch Forschungsergebnisse und Pilotprojekte bestätigt, dass eine gezielte Ausdehnung möglich und ökonomisch sinnvoll ist. Deshalb fördert sie den Ökologischen Landbau seit dem Jahr 2001 gezielt in sämtlichen Trinkwassergewinnungsgebieten durch spezifische Ausgleichszahlungen und Projekte im Rahmen der Verordnung (EG) Nr. 1257/1999.

### Vorgehensweise

Zur Untersuchung der Frage, wie eine gezielte Ausdehnung des Ökologischen Landbaus am effektivsten erreicht werden kann, wurde ein transdisziplinärer Forschungsansatz gewählt: Auf der Basis bestehender Erkenntnisse und eigener Voruntersuchungen wurde gemeinsam mit niedersächsischen Partnern ein Wasserschutzprojekt konzipiert, beantragt und durchgeführt (Nähere Projektinformationen unter [www.h2o.de](http://www.h2o.de)). Im Zuge der Mitarbeit an diesem Projekt wurden 101 Landwirte interviewt und der Entscheidungsprozess der Landwirte über die Umstellung auf Ökologischen Landbau sowie die Bedeutung von informatorischen Maßnahmen in diesem Prozess untersucht. Mit den Befragungsergebnissen wurde unter Berücksichtigung psychologischer Grundlagen ein Phasenmodell der Umstellung auf Ökologischen Landbau abgeleitet und eine Systematik umstellungsrelevanter Faktoren erstellt (siehe Abbildungen). Die Ergebnisse wurden genutzt, um die Gestaltung der Informations- und Beratungstätigkeit laufend zu verbessern. Ergänzend wurden mit Experten des Ökosektors die Bedingungen für eine gezielte Ausdehnung diskutiert.

### Systematik umstellungsrelevanter Faktoren

nach Wirkungsebenen und Grad der Spezifik für die Umstellungsentscheidung



Wenn Landwirte von den Faktoren berichteten, die für ihre Überlegungen bezüglich der Umstellung bedeutsam waren, dann stellten sie in der Regel jeweils mehrere Faktoren in zusammenhängender Form dar bzw. dann benannten sie häufig neben den Faktoren auch deren Abhängigkeiten und Wirkungen. Aus den ermittelten funktionalen Zusammenhängen ergab sich ein Bild, das einem interaktiv vernetzten Faktorgewebe entspricht. Dieses Gewebe konnte nach drei systemischen Wirkungsebenen und der Spezifik der Faktoren für die Umstellung gegliedert werden, in das sämtliche relevanten Faktoren eingeordnet werden können. Mit Spezifik ist gemeint, inwieweit ein Faktor von allgemeiner oder unmittelbarer Bedeutung für die Umstellungsentscheidung ist. In der Abbildung sind die Wirkungsebenen in horizontalen, ineinander verschachtelten Balken dargestellt. Der Landwirt ist ein Teil des landwirtschaftlichen Betriebs und des direkten sozialen und beruflichen Umfeldes. Der Betrieb und das unmittelbare Umfeld sind ein Teilsystem der Gesellschaft und Umwelt. Die vertikalen, mit gestrichelten Linien umrandeten Felder repräsentieren die unterschiedlichen Grade der Spezifik, durch die sich die Faktoren unterscheiden. Die Faktorengruppen auf der Ebene des Landwirts bzw. mit höherer Spezifik sind jeweils in die allgemeineren eingebettet und von diesen abhängig oder sie wirken auf diese in einem wechselseitigen Bezug zurück. Daraus ergeben sich kaskadenartige Abhängigkeiten oder Wirkungsketten von Faktoren. Durch diese systemische Betrachtung wird einerseits deutlich, dass Faktoren auf der betrieblichen oder übergeordneten Ebene, erst über die Wahrnehmung und Bewertung des Landwirts wirksam werden. Andererseits kann daraus gefolgert werden, dass nicht einzelne Faktoren identifiziert werden können, die für die Umstellungsentscheidung ausschlaggebend sind, sondern stets nur Wirkungsketten von Faktoren, die in die individuelle Bewertung der relativen Vorzüglichkeit durch den Landwirt münden. Wobei diese Bewertung rational und/oder intuitiv erfolgen kann und dabei am Beginn der Auseinandersetzung vor allem das Interesse bzw. persönliche Motive und generelle und regionale Rahmenbedingungen von Bedeutung sind und erst wenn eine Umstellung konkret in Erwägung gezogen wird, konkrete betriebliche Parameter, sowie die Durchführbarkeit und die Abschätzung des Risikos einer Umstellung an Bedeutung gewinnen.

### Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen kann gefolgert werden, dass eine gezielte Ausdehnung des Ökologischen Landbaus sinnvoll und machbar ist. Mit einer Vorgehensweise, die an die Entwicklung des Ökomarktes sowie die Anforderungen der Landwirte in den verschiedenen Phasen der Umstellung angepasst wird und die sicherstellt, dass Landwirte im Falle einer Umstellung keine Einkommenseinbußen in Kauf nehmen müssen, kann die Ausdehnung des Ökologischen Landbaus in Gebieten mit besonderem Schutzinteresse konzentriert und dadurch in nachhaltiger Weise Trinkwasserschutz in der Landwirtschaft verankert werden.

Für ausführliche Informationen siehe SZERENCZITS M. (2006): Grundlagen für die gezielte Ausdehnung des Ökologischen Landbaus zum Zwecke des Wasserschutzes - Ableitung einer Ad-hoc-Theorie der Umstellung und Diskussion der Rahmenbedingungen für die Ausdehnung. Dissertation Universität Kassel.

# The Monitoring of Shallow Groundwater for Maize Herbicides and Their Metabolites in Northern Italy

F. Ferrari, M. Balderacchi, G. Fait, M. Trevisan, E. Capri.

Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale - Università Cattolica del Sacro Cuore  
Via Emilia Parmense, 84 - I-29100 Piacenza ITALY

Several triazines and acetanilides are used as effective pre-emergent and early post-emergent control of selected grasses and broadleaf weeds in maize. They degrade rapidly in soil and produce the environmental degradates.

The aim of the study to validate a correct methodology for individuation of representative soil scenarios at regional-basin scale for monitoring programs purpose, then to monitor the concentrations of herbicides and some of their soil degradates in shallow groundwater in key Italian regions for the cultivation of maize.

The monitoring program here presented is focused on the herbicide “terbuthylazine” and on its metabolite “desethyl-terbuthylazine” (DET), and is carried out at regular time intervals, following the normal agricultural practices applied in Italy and the normal use of the product across a range of climatic conditions and soil permeability, with the aim to evaluate the leaching of these two herbicides in different representative areas in the north of Italy..

Every experimental field includes four sampling clusters and a weather station; each sampling cluster consists of two piezometers. Three clusters are placed at the downstream board of the field, the area of maximum interception of the shallow ground water of the surface treated with the test active substances. One cluster is placed at the board upstream of the treated surface.

The formulates were applied at the maximum agronomic dose. The samplings is been realised every two months, starting with the day of the treatment and until the end of the study.

The determination of concentrations in the water samples of lypophilic analytes is carried out by automated solid-phase extraction on a SPE column and gas chromatography with mass-selective detection.

This study shows a possible way to create regional scenarios with a procedure repeatable and transparent which take into account crop, soil & climate.

The identified scenarios are representative of the regional agriculture and among their both vulnerable and protective to pesticides are present.

Vulnerability is function of soil characteristics and agronomic practice (irrigation type)

To evaluate the vulnerability area is needed to take into account both parameters

The step by step procedure allows to identify scenarios which could be representative of very large area (i.e. Po valley, Italy, Europe)

The monitoring data confirms the results obtained with the model simulations.

Results resuming:

*0Statistics of the whole results*

	Terbuthylazine mg/L	DET mg/L
Median	0.04	0.04
Average	0.04	0.13
90th percentile	0.18	0.74

*results according to the different type of irrigation*

	Terbuthylazine 90th percentile mg/L	DET 90th percentile mg/L
No irrigation	0.04	0.04
Sprinkling	0.04	0.13
Border-basin	0.18	0.74



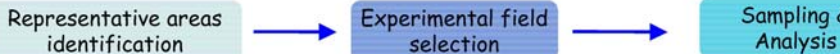
# THE MONITORING OF SHALLOW GROUNDWATER FOR MAIZE HERBICIDES AND THEIR METABOLITES IN NORTHERN ITALY

Several triazines and acetanilides are used as effective pre-emergent and early post-emergent control of selected grasses and broadleaf weeds in maize. They degrade rapidly in soil and produce the environmental degradates. The aim of the study to validate a correct methodology for individuation of representative soil scenarios at regional-basin scale for monitoring programs purpose, then to monitor the concentrations of herbicides and some of their soil degradates in shallow groundwater in key Italian regions for the cultivation of maize. The monitoring program here presented is focused on the herbicide "terbuthylazine" and on its metabolite "desethyl-terbuthylazine", and is carried out at regular time intervals, following the normal agricultural practices applied in Italy and the normal use of the product across a range of climatic conditions and soil permeability, with the aim to evaluate the leaching of these two herbicides in different representative areas in the north of Italy.

F. Ferarri  
M. Balderacchi  
G. Fait  
M. Trevisan  
E. Capri

Istituto di Chimica  
Agraria ed Ambientale  
Università Cattolica  
del Sacro Cuore  
Via Emilia Parmense, 84  
I-29100 Piacenza  
ITALY

## GENERAL PROCEDURE



## REPRESENTATIVE AREAS IDENTIFICATION: The case of Lombardia

### I. Maize diffusion

Using the data base coming from 5<sup>th</sup> agricultural census (ISTAT, 2000) in red and the map of land use CLC90 Corine Land Cover in blue

### II. Soil types

The digital soil map (shape format) is linked with a database containing all the information regarding the landscape unit and the representative soil profiles. The soil map 1:80,000 includes 785 different profiles representing the soils along the Po valley area, then grouped by cluster analysis.

### III. Scenario definition

Scenario	Soil name	Maize Ha 364918
L-1	BTU1	28.2%
L-2	CBR1	10.0%
L-3	LEO1	7.1%
L-4	LOD1	7.1%
L-5	CA61	6.1%
L-6	CPV1	4.7%
L-7	BEL1	4.2%
not represented		32.6%

Cluster analysis (SAS) was used to find groups of similar soils with soil properties affecting sorption, degradation & hydrology and therefore leaching process as variables. 7 clusters were chosen because they represented the soils more widespread and cover the 44% of regional flat area soils and the 64% of regional maize crop area.

### IV. Model application

The model PELMO was used to identify the different vulnerability of the seven scenarios. PELMO was set as suggested by FOCUS protocol (1 kg of a.i. applied every years per 26 year). In the graph 80<sup>th</sup> percentile of annual average pesticide leached concentration (orange bars) and water drained (blue bars) are reported. Scenarios 4 & 5 result with high vulnerability, scenario 2 is intermediate and 1,6 & 7 are with low vulnerability. In the right half the FOCUS scenario used as comparison.

## EXPERIMENTAL FIELD SELECTION

### V. Farms selection

Several farm were identified inside the area covered by scenario 1, 2, 4 & 5. After evaluation of shallow groundwater direction, field and farmer collaboration, 4 different farm located in the four scenario areas were chosen.

Farm	Soil texture	Topsoil organic (%)	Table water depth (m)	Av. annual rainfall (mm)	Accum. T May-Oct (°C)
Orzinuovi	Sandy loam	1.6	0.95-1.75	993	104
Covenago	Sandy loam over sandy	1.1	3.35-6.85	747	120
Martinengo	Sandy clay over loam	3.7	3.50-5.35	946	116
Castellucchio	Clay over clay loam	1.5	0.70-2.75	548	103

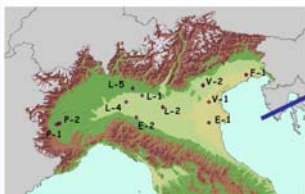
### VI. Experimental fields

8 wells (4 couples) were installed in each selected field and groundwater was sampled every two months after pesticide treatment.



The formulates were applied at the maximum agronomic dose and the samplings were realised every two month since the treatment period and until the end of the study.

### VII. Selected fields at national level and type of irrigation



Type of irrigation	Fields
None	E-1
Sprinkling	L-1; L-2; E-1; E-2; V-1; V-2; F-1
Border	P-1; P-2
Basin	L-4; L-5

## ANALYTICAL RESULTS

Soil	Scenario	Pesticide (Terbuthylazine) and metabolite (DesEthyl-Terb.) concentrations in GW (µg/L)													
		Apr05		Jun05		Aug05		Oct05		Dec05		Apr06		Jun06	
		Terb.	DET	Terb.	DET	Terb.	DET	Terb.	DET	Terb.	DET	Terb.	DET	Terb.	DET
L-1															
L-2															
L-4															
L-5															
P-1															
P-2															
E-1															
E-2			n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
V-1															
V-2															
F-1															

■ = higher than 1.0 µg/L; ■ = from 0.1 to 1.0 µg/L; ■ = from 0.01 to 0.10 µg/L; ■ = below 0.01 µg/L; n.a. = sample not analysed.

Statistics of the whole results			Results according to the different type of irrigation	
	Terb. mg/L	DET mg/L	Terb. 90th percentile mg/L	DET 90th percentile mg/L
Median	0.04	0.04	No irrig. 0.04	0.04
Average	0.04	0.13	Sprinkling 0.04	0.13
90th percentile	0.18	0.74	Border-basin 0.18	0.74

## CONCLUSION

- This study shows a possible way to create regional scenarios with a procedure repeatable and transparent which take into account crop, soil & climate.
- The identified scenarios are representative of the regional agriculture and among their both vulnerable and protective to pesticides are present.
- Vulnerability is function of soil characteristics and agronomic practice (irrigation type)
- To evaluate the vulnerability area is needed to take into account both parameters
- The step by step procedure allows to identify scenarios which could be representative of very large area (i.e. Po valley, Italy, Europe)
- The monitoring data confirms the results obtained with the model simulations.

# **Integriertes Stickstoffmanagement im Gemüsebau - eine Möglichkeit zur wirksamen Verringerung der Gewässerbelastung entsprechend der Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie**

M. Armbruster<sup>1</sup>/N. Laun<sup>2</sup>/F. Wiesler<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LUFA Speyer, Obere Langgasse 40, D-67346 Speyer – Deutschland

<sup>2</sup> Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum -Rheinpfalz-, Lehr- und Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof, D-67105 Schifferstadt – Deutschland

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) ist mit ihrer Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union am 22.12.2000 in Kraft getreten. Sie soll einen Ordnungsrahmen für den flächenhaften Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers schaffen. Der erste, inzwischen abgeschlossene Schritt im Vollzug der EU-Wasserrahmenrichtlinie war die Bestandsaufnahme im Jahr 2004. Im Bundesland Rheinland-Pfalz (Deutschland) wurden dabei 31 % der Grundwasserkörper auf Grund diffuser Stickstoffeinträge in die Kategorie „Zielerreichung unwahrscheinlich“ eingestuft. Es handelt sich dabei ausschließlich um Gebiete mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung, so mit intensiver Tierhaltung und Regionen mit intensiver Pflanzenproduktion wie etwa Gemüsebau. Der weitere Vollzug der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie wird in diesen Gebieten ein Maßnahmenprogramm zur Verminderung der N-Bilanzüberschüsse erforderlich machen. Die Ergebnisse umfangreicher Feldversuche mit verschiedenen Maßnahmen zur Verbesserung der N-Ausnutzung im Gemüsebau sollen nach Prüfung der ökologischen und ökonomischen Effizienz die Grundlage für ein solches Maßnahmenprogramm bilden.

Die Untersuchungen werden auf zwei Standorten mit vergleichbarem Klima aber unterschiedlichen Böden (Braunerde / Sand; Parabraunerde / Löß) durchgeführt. Es werden 4 Fruchtfolgen (ausschließlicher Gemüseanbau, Gemüseanbau mit Sommer- bzw. Winterzwischenfrüchten, Gemüse-/Getreide-Fruchtfolge) untersucht. Als Gemüsekulturen wurden 2004 Blumenkohl, 2005 Kopfsalat und 2006 Staudensellerie angebaut. Als Sommerzwischenfrucht diente Hirse, als Winterzwischenfrucht Winterroggen bzw. Wintergerste. Das Management der Ernterückstände beinhaltet die sofortige bzw. verzögerte Einarbeitung und Abfuhr der Ernterückstände vom Feld. Die N-Düngung erfolgt nach Faustzahlen, nach dem Sollwert-basierten N-Expert-Verfahren und nach einem Verfahren, in dem die Pflanze als Indikator für den Düngungsbedarf dient.

Bislang hatte die unterschiedliche Düngung keinen eindeutigen Einfluss auf den Ertrag und die Qualität der Gemüsekulturen. Im Jahr 2004 (2005) ergab sich in der intensiven Gemüsefruchtfolge (2 Sätze Gemüse) am Sandstandort für die Düngungsvariante nach Faustzahlen ein N-Bilanzsaldo von 486 (183) kg N ha<sup>-1</sup>. Die Salden der Düngungsvarianten nach N-Expert und Pflanzendiagnose waren mit 172 (38) bzw. 143 (31) kg N ha<sup>-1</sup> deutlich geringer. Die Abfuhr der Ernterückstände und der Anbau einer Zwischenfrucht führten ebenso wie die Gemüse-/Getreidefruchtfolge zu deutlich geringeren N-Salden. Erste Berechnungen der Nitrat-Auswaschung für das Jahr 2005 (intensive Gemüsefruchtfolge; Verbleib der Ernterückstände) ergaben am auswaschungsgefährdeten Sandstandort für die Düngungsvariante „Faustzahlen“ eine Auswaschung von 441 kg N ha<sup>-1</sup>, für die Varianten „N-Expert“ und „Diagnose“ 192 bzw. 156 kg N ha<sup>-1</sup>. Durch die Abfuhr der Ernterückstände wurde die N-Auswaschung in der Düngungsvariante „Faustzahlen“ auf 276 kg N ha<sup>-1</sup>, in der Düngungsvariante „N-Expert“ auf 103 kg N ha<sup>-1</sup> reduziert. Die Ergebnisse bestätigen, dass eine Verbesserung der Stickstoffausnutzung durch die in der Studie untersuchten Maßnahmen zu erreichen ist.

# Entwicklung und Validierung von Stickstoff-Managementssystemen zur wirksamen Verringerung der Gewässerbelastung entsprechend der Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie

## Problemstellung

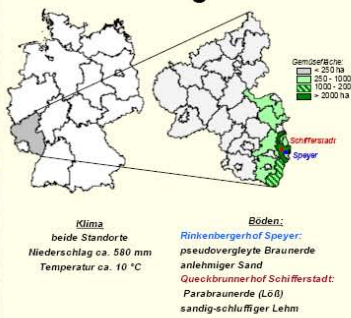
Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) ist mit ihrer Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union am 22.12.2000 in Kraft getreten. Sie soll einen Ordnungsrahmen für den flächenhaften Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers schaffen. Der erste, inzwischen abgeschlossene Schritt im Vollzug der EU-Wasserrahmenrichtlinie war die Bestandsaufnahme im Jahr 2004. Im Bundesland Rheinland-Pfalz wurden dabei 31 % der Grundwasserkörper auf Grund diffuser Stickstoffeinträge in die Kategorie „Zielerreichung unwahrscheinlich“ eingestuft. In Ihnen liegen 90 % aller in den letzten 10 Jahren untersuchten Grundwassermessstellen mit Nitratwerten von mehr als 50 mg L<sup>-1</sup>. Es handelt sich dabei ausschließlich um Gebiete mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung, so mit intensiver Tierhaltung und Regionen mit intensiver Pflanzenproduktion wie etwa Gemüsebau (z.B. Vorderpfalz, Vorhardt). Der weitere Vollzug der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie wird in diesen Gebieten ein Maßnahmenprogramm zur Verminderung der N-Bilanzüberschüsse erforderlich machen.

## Zielsetzung

Die Ergebnisse umfangreicher Feldversuche mit verschiedenen Maßnahmen zur Verbesserung der N-Ausnutzung im Gemüsebau sollen nach Prüfung der ökologischen und ökonomischen Effizienz die Grundlage für Entwicklung eines „Integrierten Stickstoffmanagementsystems“ als Grundlage für ein im Rahmen der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie voraussichtlich gefordertes Maßnahmenprogramm bilden. Als Resultat einer Schwachstellenanalyse ist eine Verbesserung der Stickstoffausnutzung in der intensiven Pflanzenproduktion der Vorderpfalz ist zu erwarten durch:

- die Entwicklung optimierter Fruchtfolgen einschließlich des Anbaus von Zwischenfrüchten,
- ein Management der Ernterückstände,
- die Entwicklung optimierter Verfahren der Düngungsbedarfsermittlung

## Untersuchungsstandorte



## Versuchsvarianten

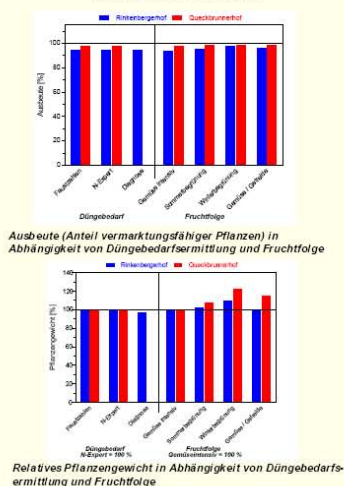
- I. Standorte**
  - Rinkenbergerhof, Versuchsfeld der LUFA Speyer
  - Quackbrunnherhof, Versuchsbetrieb Gemüsebau DLR Rheinpfalz
- II. Fruchtfolgen**
  - Intensive Gemüsefruchtfolge
  - Gemüsefruchtfolge mit Sommerbegrenzung
  - Gemüsefruchtfolge mit Winterbegrenzung
  - Gemüse-/Getreidefruchtfolge
- III. Management der Ernterückstände**
  - Verbleib auf dem Feld mit Einarbeitung
  - Verbleib auf dem Feld ohne Einarbeitung
  - Abfuhr vom Feld
- IV. Düngungsbedarfsermittlung**
  - Düngung nach Faustzahlen
  - Düngung nach N-Expert (KNS)
  - Düngung nach Pflanzendiagnose

## Fruchtfolgen

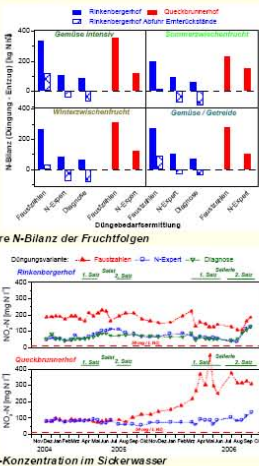
Jahr	Kultur 1	Kultur 2	Winter
<b>1. Intensive Gemüsefruchtfolge, 2 Kulturen pro Jahr, ohne Zwischenfruchtanbau</b>			
2004	Blumenkohl	Blumenkohl	-
2005	Salat	Salat	-
2006	Staubensellerie	Staubensellerie	-
2007	Blumenkohl	-	-
<b>2. Gemüsefruchtfolge mit Zwischenfruchtanbau (Sommerbegrenzung)</b>			
2004	Blumenkohl	Hirse	-
2005	Salat	Hirse	-
2006	Staubensellerie	Hirse	-
2007	Blumenkohl	-	-
<b>3. Gemüsefruchtfolge mit Zwischenfruchtanbau (Winterbegrenzung)</b>			
2004	Blumenkohl	Blumenkohl	Winterbegrenzung (Roggen)
2005	Winterbegrenzung bis Mai	Salat	Winterbegrenzung (Gerste)
2006	Winterbegrenzung bis Mai	Staubensellerie	Winterbegrenzung (Roggen)
2007	Winterbegrenzung bis Mai	-	-
<b>4. Gemüse-/Getreidefruchtfolge</b>			
2004	Blumenkohl	Blumenkohl	Winterweizen ab Okt.
2005	Winterweizen bis Juli	Salat	Wintergerste ab Okt.
2006	Winterweizen bis Juli	Staubensellerie	Winterweizen ab Okt.
2007	Winterweizen bis Juli	-	-

## Ergebnisse

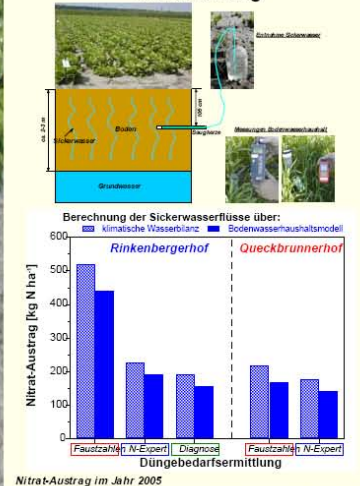
### Ertrag und Qualität



### N-Bilanz und Sickerwasserkonzentrationen



### Nitrat Austrag



## Förderung

Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz; Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz

M. Armbruster<sup>1</sup>, F. Wiesler<sup>1</sup>, N. Laun<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LUFA Speyer, Obere Langgasse 40, D-67346 Speyer

<sup>2</sup> Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz-, Lehr- und Versuchsbetrieb Quackbrunnherhof, D-67105 Schifferstadt

# Die Daten der Forschungsstation Wagna (1992 - 2003) als Grundlage für die Modellkalibration

J. Fank

JOANNEUM RESEARCH  
Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## Summary

As a reaction of increasing nitrate concentrations in the groundwater of the Mura – aquifer in Styria (Austria) in 1991 the research station “Wagna” in the Leibnitzer Feld has been built. The main goal of the investigations were to get data about water movement and nitrate transport from the surface through the unsaturated zone to the groundwater, comparing two different cropping systems (maize monoculture and crop rotation). At a weather station meteorological data were measured. Seepage water amount and nitrate leaching to the groundwater was measured using different types of lysimeters and seepage water samplers. In the different soil horizons temperature, tension and water content have been measured. To get information about the residence time of water in the unsaturated zone tracing experiments have been done and evaluated.

## Kurzfassung

Als Reaktion auf die steigenden Nitratkonzentrationen im Grundwasser des Murtals wurde im Jahr 1991 im Leibnitzer Feld die Forschungsstation Wagna errichtet. Hauptsächliches Ziel war die Gewinnung von Daten über die Prozesse, die die Sickerwassergewinnung und den Nitrattransport von der Atmosphäre über die Pflanzen und den Boden, durch die ungesättigte Zone in das Grundwasser steuern (Fank, 1999). Die Lysimeterstation ist in ein landwirtschaftliches Versuchsfeld integriert, in dem die Bewirtschaftung der 32 Großparzellen mit je 1000 m<sup>2</sup> seit 1987 im Detail bekannt ist. In den Lysimeteruntersuchungen wurden zwei unterschiedliche Bewirtschaftungsvarianten verglichen: Mais in Monokultur (MM) mit einer Fruchtfolge (FF) in der neben 2 mal Mais auch Raps (bzw. Kürbis) und Getreide vorkamen. Im Zuge der Errichtung der Forschungsstation wurde die bodenkundliche Ansprache der Lysimeterstandorte in Kombination mit bodenphysikalischen und bodenchemischen Laboruntersuchungen durchgeführt. Neben den Wetterdaten (Niederschlag, Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte, Luftdruck, Windgeschwindigkeit) wurden Daten über den zeitlichen Verlauf des Sickerwasseranfalls an mehreren Lysimetern unterschiedlicher Bauart und an Sickerwassersammlern gewonnen. Aus den hydrochemischen Analysen der Sickerwasserproben konnten Sickerwasserfrachten berechnet werden. Die isopenhydrologische Untersuchung von Niederschlag, Sickerwasser und Grundwasser ergänzten die Analytik. In den unterschiedlichen Horizonten der ungesättigten Zone wurden bodenphysikalische Parameter wie Bodentemperatur, Saugspannung und der Wassergehalt gemessen. Zur Erfassung der Verlagerungsgeschwindigkeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone wurden Tracerversuche durchgeführt und ausgewertet. Der aus den Untersuchungen an der Forschungsstation Wagna gewonnene Datensatz stellt bei detaillierter Kenntnis der Bewirtschaftung für den Zeitraum 1992 bis 2003 durchgehende Zeitreihen einer Vielzahl von Parametern zur Verfügung, weshalb dieser Datensatz für die Validierung und Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen bestens geeignet erscheint.

FANK, J. (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.

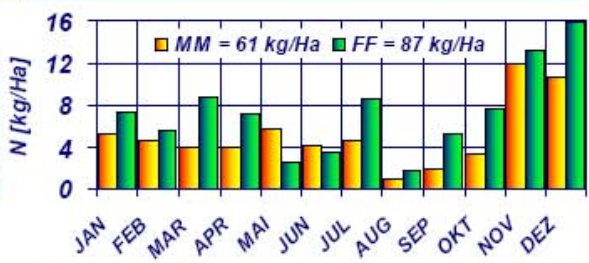
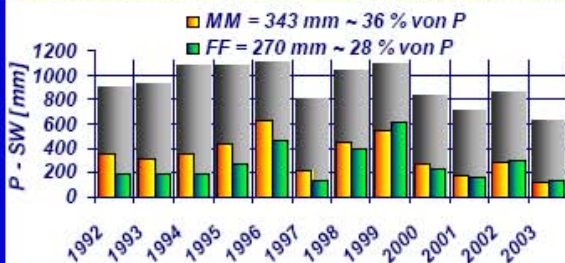
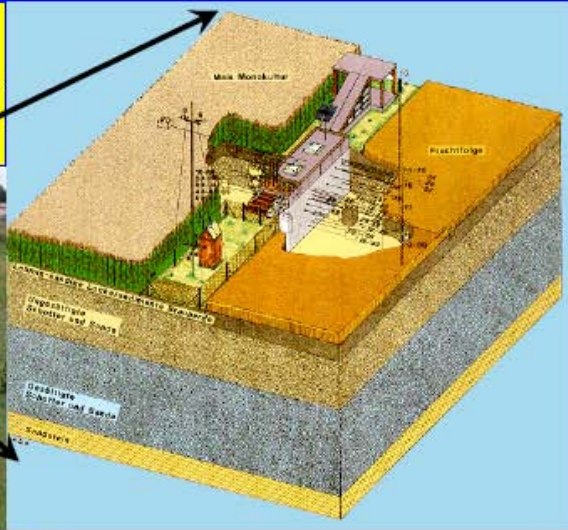
Univ. Doz. Dr. Johann Fank  
 JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz  
 Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393  
 Fax: +43 (0) 316 / 876 91393  
 eMail: johann.fank@joanneum.at  
 Internet: www.joanneum.at/WRM

**JOANNEUM RESEARCH**  
**Forschungsgesellschaft mbH**  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Hydrogeologie und Geophysik

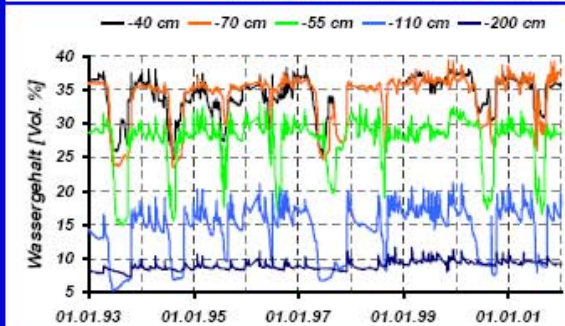


## Johann FANK : Die Daten der Forschungsstation Wagna (1992 - 2003) als Grundlage für die Modellkalibrierung

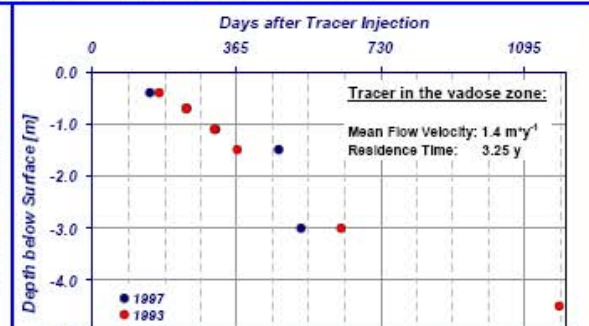
Die Forschungsstation Wagna wurde im Jahr 1991 in Wagna im Murtal zur Erfassung von Daten über den Wasser- und Nitratfluss in der ungesättigten Zone und den Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsformen auf die Grundwasserverhältnisse errichtet. Sie ist eingebettet in ein landwirtschaftliches Versuchsfeld mit seit 1987 bekannten und kontrollierten Bewirtschaftungsbedingungen



Neben meteorologischen Daten an einer Wetterstation wurden die Sickerwassermengen und die Stickstoffausträge ins Grundwasser unter einer Maissmonokultur (MM) und unter einer Fruchtfolgeparzelle (FF) mit Hilfe mehrerer Lysimeter und Sickerwassersammler erfasst



In den unterschiedlichen Bodenhorizonten wurden neben Temperatur und Saugspannung auch der Wassergehalt mittels TDR-Sonden aufgezeichnet



Die Verlagerungsgeschwindigkeit des Sickerwassers von der Oberfläche bis in das Grundwasser wurde mittels Tracerversuchen gemessen



# "Scientific-Field-Lysimeter" – ein Lysimeter zur differenzierten Erfassung der Horizontwassersituationen und der Schnittstellen zu Atmosphäre und Aquifer

J. Fank<sup>1)</sup> & G. von Unold<sup>2)</sup>

1) JOANNEUM RESEARCH

Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

2) UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH

Gmunder Str. 37  
D-81379 München

## Summary

The „Scientific Field Lysimeter“ (SOFILYS) is a monolithic, precise weighable lysimeter for the determination of soil water conditions and water flow in the different horizons of a profile. At certain depths there is the possibility to get pore and soil water samples. In addition to the advantages of the Hydro-Lysimeter readings and water samples are taken from the horizons of a soil hydrologic profile under undisturbed field conditions.

## Kurzfassung


Das „Scientific Field Lysimeter“ (SOFILYS) ist ein monolithisches, wägbares Präzisionslysimeter zur Bestimmung der horizontabhängigen Bodenwassersituation und der Wasserflüsse an den Schnittstellen zur Atmosphäre und zum Aquifer sowie zur definierten Porenwasser- und Sickerwasserprobenahme. Der zwei Meter mächtige Bodenmonolith ist mit zusätzlichen Sensoren zur Messung der Wasserspannung und des Wassergehaltes in den unterschiedlichen Bodenhorizonten ausgestattet. Tiefengestaffelte Saugkerzen zur Erfassung des Bodenwassers ergänzen die Instrumentierung. Das Sickerwasser wird über einen tensionsgesteuerten Saugkerzenrechen über der Lysimeterplatte gewonnen und auf 0.01 mm Genauigkeit gewogen. Lysimeter und ein bodenhydrologisches Messprofil im ungestörten Freiland werden parallel mit Sensoren bestückt. Damit eignet sich das System zum Langzeitmonitoring von bodenkundlichen und bodenwasserrelevanten Prozessen.

Die Vorteile dieses System können zusammengefasst werden:


- Quantifizierung von Wasser- und Stoffflüssen unter realen Bedingungen in wählbaren Tiefenstufen.
- Messung der pF-Kurven in situ und Vergleichsmöglichkeit mit Labormessungen
- Beprobung des Bodenwassers über konstantes oder tensiometergesteuertes Vakuum
- Qualitative Beobachtung des Bodenwassers über tiefengestaffelte Saugkerzen
- Messung der Bodenwasserspannung, des Wassergehaltes und der Temperatur erfolgt parallel im Lysimeterprofil und im Freilandprofil. Damit sind Aussagen über die Unsicherheiten der Lysimetermessungen möglich
- Messung der Wasserbilanzparameter mit 0,01 mm Auflösung

In der Forschungsstation Wagna (Österreich) wurden zwei wissenschaftliche Feldlysimeter mit den Möglichkeiten der mechanischen Bewirtschaftung von AGROLYS kombiniert, wodurch


spezifische messtechnische Grundlagen für die Validierung von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen geschaffen wurden.



**JOANNEUM RESEARCH**  
**Forschungsgesellschaft mbH**  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Hydrogeologie und Geophysik



**Johann FANK & Georg von UNOLD:**  
**"Scientific-Field-Lysimeter" zur differenzierten Erfassung der**  
**Horizontwassersituationen und der Schnittstellen zu Atmosphäre und Aquifer**



**SHMP: bodenhydrologisches Messprofil**

**MONO: monolithisches Lysimeter (200 cm)**

Bodensensoren

Spindeltrieb zur Feinjustierung (x-y-z)


Präzisions-Wiegeelemente

Messleitungen, Sickerwasser


Das „Scientific Field Lysimeter“ ist ein monolithisches, wägbares Präzisionslysimeter zur Bestimmung der horizontabhängigen Bodenwassersituation und der Wasserflüsse sowie zur definierten Porenwasser- und Sickerwasserprobenahme.

Der zwei Meter mächtige Bodenmonolith ist mit zusätzlichen Sensoren zur Messung der Wasserspannung und des Wassergehaltes in den unterschiedlichen Bodenhorizonten ausgestattet. Tiefengestaffelte Saugkerzen zur Erfassung des Bodenwassers ergänzen die Instrumentierung. Das Sickerwasser wird über einen tensionsgesteuerten Saugkerzenrechen über der Lysimeterplatte gewonnen und auf 0,01 mm Genauigkeit gewogen.


Parallel zum Lysimeter werden die gleichen Parameter auch in einem bodenhydrologischen Messprofil erfasst.




Lysimetergewinnung




Bodenprobenahme




Instrumentierung




Messprofil



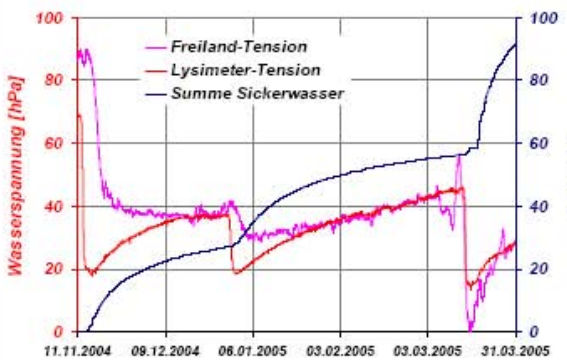
Einbau

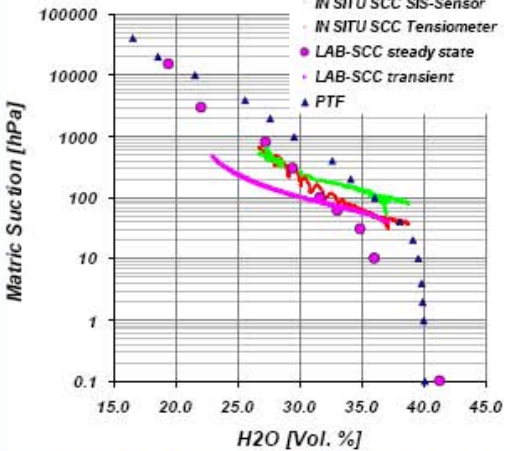


Justage und Inbetriebnahme



Lysimeter in Betrieb





**Übertragung Freiland-Matrixpotential ins Lysimeter**  
 – Vergleich der gemessenen Tensionen in 180 cm (Wasserspannung)  
 – Vergleich mit der Sickerwasserdynamik - (Sickerwasser – Summenlinie Σ SW)

**90 cm: Vergleich von Feld pF – Kurven mit Labormessungen und Peto Transfer Funktion**

Dipl. Ing. Georg v. Unold  
 UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
 Gmunder Str. 37  
 D-81379 München  
 Phone: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 0  
 Fax: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 20  
 eMail: gv@ums-muc.de  
 Internet: www.ums-muc.de

Zusätzliche Informationen über modulare Lysimetersysteme finden Sie:  
 Lysimetertechnik: [www.ums-muc.de/systems\\_solutions/lysimeter](http://www.ums-muc.de/systems_solutions/lysimeter)  
 Lysimeter Research Group: [www.lysimeter.at](http://www.lysimeter.at)  
 Lysimeter Testfeld Wagner: [www.lysimeter.com](http://www.lysimeter.com)

Univ. Doz. Dr. Johann Fank  
 JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz  
 Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393  
 Fax: +43 (0) 316 / 876 91393  
 eMail: [johann.fank@joanneum.at](mailto:johann.fank@joanneum.at)  
 Internet: [www.joanneum.at/WRM](http://www.joanneum.at/WRM)

# Datenfluss und -management an der Forschungsstation Wagna

J. Fank & G. Rock

JOANNEUM RESEARCH  
Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## Summary

A modular data flow, management and evaluation concept had to be developed for the research station Wagna. The main components of this system are:

1. management of the on-line measurements
2. maintenance of measuring devices using remote control systems based on DSL
3. Development of efficient data base management and data evaluation systems.

## Kurzfassung

Aufgrund des großen Umfanges der Messdaten und Informationen aus dem Betrieb der Forschungsstation Wagna war die Erarbeitung eines umfassenden Datenfluss-, -management- und –auswertekonzeptes erforderlich. Die Hauptkomponenten dieses Konzeptes sind:

1. Die Verwaltung der On-line Messdaten der Forschungsstation Wagna. Die Messdaten aus insgesamt 110 Online Sensoren mit 1 bis 10 Minuten Aufzeichnungsintervall aus dem Bereich Meteorologie, Boden- und Grundwasserhydrologie werden auf mehreren spezifisch konfigurierten Datensammlern gespeichert. Die Wiegedaten von zwei Lysimetern sowie die Videodaten aus den vier Überwachungskameras werden direkt am Messrechner abgelegt.
2. Fernwartung der Messsysteme über DSL. Die Datensammler sind über RS232 – Schnittstellenkabel bzw. über Richtfunk an den Messrechner der Station gekoppelt. Über eine DSL – Standleitung und entsprechender Remote – Software (PC-Anywhere) kann dieser Rechner extern gewartet werden, sodass neben der Übertragung der Messdaten und der Videoinformationen auch jederzeit eine Neukonfiguration der Messsysteme und deren Kontrolle und Wartung möglich ist.
3. Bereitstellung von leistungsfähigen Datenbanken und Auswertesystemen. Neben den on-line Messdaten werden insgesamt 78 Zeitreihen aus der wöchentlichen Probenahme, die hydrochemischen und isopenhydrologischen Analysenergebnisse an 9 Messstellen mit monatlicher Beprobung, die Analyseergebnisse aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (Gülle, Pflanzeninhaltsstoffe, Erträge etc.), die Ergebnisse der initialen bodenphysikalischen und bodenchemischen Profilaufnahme sowie die Daten aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung des Versuchsfeldes am Institut für WasserRessourcenManagement zusammengeführt und über automatisierte Funktionen in strukturierte Datenbanken verteilt.

Kernstück des Datenmanagements ist die Zeitreihendatenbank, in der alle zeitabhängigen Daten erfasst, visualisiert und editiert werden. Das modulare Konzept fördert die Integration von weiteren Auswerte- und Exportmodulen. Da bei 10minütigem Aufzeichnungsintervall bei jedem on-line Sensor je Jahr 52.560 Messwerte als Rohdaten abgespeichert werden müssen ist bei der anfallenden Datenmenge eine Verwaltung nur noch über programmierte, effiziente Funktionen möglich. Jede Veränderung der Messdaten wird in einem Variantenmanagementsystem registriert, woraus eine vollständige Nachvollziehbarkeit von Editiervorgängen resultiert. Die wesentlichsten

Module der Zeitreihendatenbank sind effiziente Werkzeuge zur tabellarischen und grafischen Visualisierung und zur grafisch unterstützten Editierung der umfangreichen Datenbestände.

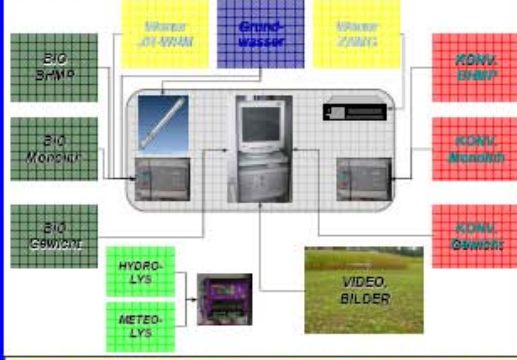
<p>Univ. Doz. Dr. Johann Fank  <b>JOANNEUM RESEARCH</b>          Institut für WasserRessourcenManagement          Elisabethstraße 16/II          A-8010 Graz</p> <p>Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393          Fax: +43 (0) 316 / 876 91393          eMail: johann.fank@joanneum.at          Internet: www.joanneum.at/WRM</p>	<p>Ing. Gerhard Rock  <b>JOANNEUM RESEARCH</b>          Institut für WasserRessourcenManagement          Elisabethstraße 16/II          A-8010 Graz</p> <p>Tel.: +43 (0) 316 / 876 1323          Fax: +43 (0) 316 / 876 91323          eMail: gerhard.rock@joanneum.at          Internet: www.joanneum.at/WRM</p>	<p><b>JOANNEUM RESEARCH</b>  <b>Forschungsgesellschaft mbH</b>          Institut für WasserRessourcenManagement          Hydrogeologie und Geophysik</p>	
---	---	--	---

## Johann FANK & Gerhard ROCK: Datenfluss und -management an der Forschungsstation Wagna

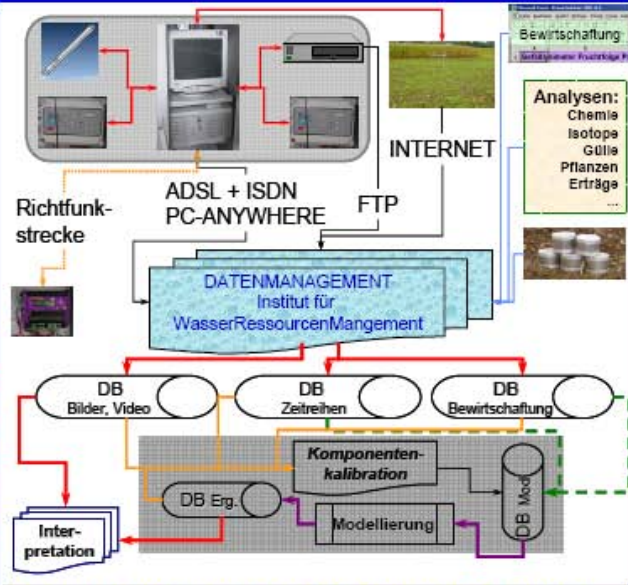
Aufgrund des großen Umfangs der Messdaten und Informationen aus dem Betrieb der Forschungsstation Wagna war die Erarbeitung eines umfassenden Datenfluss-, -management- und -auswertekonzeptes erforderlich. Hauptkomponenten des Konzeptes sind:

1. Verwaltung der On-line Messdaten in Wagna
2. Fernwartung der Messsysteme über DSL
3. Bereitstellung von leistungsfähigen Datenbanken und Auswertesystemen bis hin zu den Modellen.

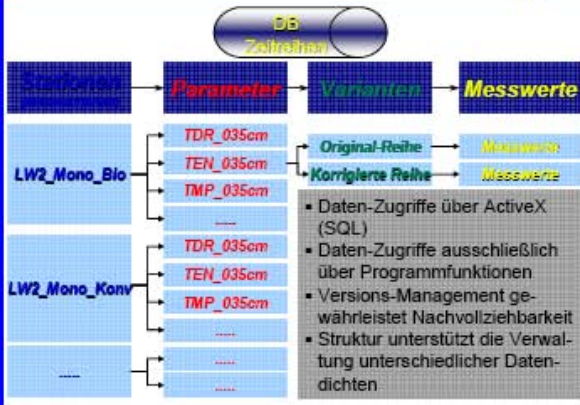
Kernstück des Datenmanagements ist die Zeitreihendatenbank, in der alle zeitabhängigen Daten erfasst, visualisiert und editiert werden. Das modulare Konzept fördert die Integration von weiteren Auswerte- und Exportmodulen.




Erfassung der On-line Messdaten auf Datensammlern bzw. direkt auf dem Messrechner in der Station Wagna



Anbindung der Datensammler über RS232 – Kabel bzw. Funkmodem; Fernwartung des Messrechners über PC-Anywhere; Übertragung der Messdaten bzw. der Videoinformationen über DSL (Netzwerk, FTP, Internet); Erfassung sonstiger Daten aus unterschiedlichen Quellen; Erstellung des Datenbankmanagementsystems und Bereitstellung der geprüften Daten für Auswertung, Ergebnisdarstellung und Interpretation




In der Zeitreihen – Datenbank werden alle zeitabhängigen Messdaten derart gespeichert, dass ausgehend von den Roh-Messdaten jegliche Änderung immer nachvollzogen werden kann. In der Zeitreihen Datenbank der Forschungsstation Wagna werden etwa 220 Parameter aus ca. 40 Messeinheiten gespeichert. Der überwiegende Anteil der Messwerte liegt in einem Messintervall von 10 Minuten vor.




**ZrView**

- Visualisieren
- Formatierung
- Trendgerade
- Mittelwerte
- Summen
- Jahres-Reihen
- Bezogen Min MW
- Normiert
- Daten-Lücken
- Daten-Intervalle
- Stat. Kennwerte
- MW-Liste



**ZrEdit**

- Selektieren
- Interaktivgrafisch
- MW-Liste
- Ausgaben
- Hinzufügen
- verschoben
- Löschen
- Umrechnen
- MW-Ergänzung

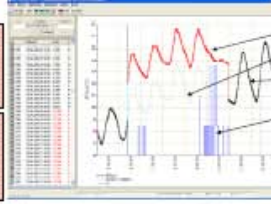


**Auswerten**

- Stat. Kennwerte
- Daten-Lücken
- Daten-Intervalle
- Jahresübersicht
- KW mehr; Reihen
- > XLS

**Exportieren**

- Min, Mit, Max
- (Tag, Mon, Jahr)
- Summen
- (Tag, Mon, Jahr)
- Akkumuliert
- Format: BZR, GWD, XLS



**MW-Liste**

- Synchronisiert mit Grafik
- Numerische Änderung
- Selektion von MW

**Visualisierung**

- Analog View-Modul
- Regressions-Analyse
- Doppelsummen-Analyse

**Farben**

- Rot: gebündelt
- Grün: Hinzugefügt
- Violett: markiert

# Wägbares und maschinell bewirtschaftbares Lysimeter für landwirtschaftliche Freilanduntersuchungen an der Forschungsstation Wagna (Steiermark, Österreich)

J. Fank<sup>1)</sup> & G. von Unold<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> JOANNEUM RESEARCH

Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

<sup>2)</sup> UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH

Gmunder Str. 37  
D-81379 München

## Summary

At the agricultural test area Wagna (Styria, Austria) two monolithic weighable lysimeters were implemented as a tool for water balance studies and solute transport determination. The lysimeters have a surface of 1 square meter and a monolith depth of 2 meter. The upper ring with a height of 0.35 m is removed to cultivate the field mechanically. Lysimeter results are compared to field measurements to investigate groundwater contamination from well known agricultural management practices.

## Kurzfassung

Für die Lysimeteranlage in Wagna (Österreich) wurde ein neuartiges Lysimeter entwickelt und im August 2004 installiert. Das Lysimeter ist mit einem Präzisionswägesystem ausgestattet und in einer Großparzelle von 1000 m<sup>2</sup> implementiert.

Vorteil dieses wägbaren Lysimeters ist, dass sowohl der das Lysimeter direkt umgebende Boden als auch die Lysimeteroberfläche selbst in gleicher Weise wie die gesamte Untersuchungsfläche bewirtschaftet werden kann. Für die Zeit der Bewirtschaftung werden die Wiegeelemente, auf der das Lysimeter steht, auf ein Betonfundament abgesenkt, das Lysimeter stabilisiert und der obere Bearbeitungsring in einer Höhe von 0.35 m abgenommen. Nach der Bodenbearbeitung – auch Pflügen bis zu einer Tiefe von 30 cm ist durchführbar – wird der Bearbeitungsring mit möglichst geringer Störung der Bodenstruktur wieder aufgesetzt, dicht mit dem Lysimeter verbunden, das Lysimeter freigegeben und die Wiegeelemente angehoben, sodass wieder Wiegeauflösungen von < 0.1 kg bei einem Gesamtgewicht von etwa 5 000 kg möglich sind.

Am Versuchsfeld Wagna sind zwei dieser neuen Lysimeter unter unterschiedlich bewirtschafteten Flächen im Vergleich zu anderen Erfassungssystemen zum Bodenwasserhaushalt und Stoffumsatz (Sickerwassersammler, bodenhydrologische Messprofile etc.) eingebaut. Durch die Tiefe des monolithisch entnommenen Lysimeterkörpers von 2 m ist gewährleistet, dass an der als Sickerfläche ausgebildeten Lysimeterunterseite nur noch nach unten gerichtete Wasserbewegung auftritt. Die detaillierte Erfassung der Sickerwassermenge und deren Stoffkonzentrationen erlauben in Kombination mit der genauen Wasserbilanz des Standortes die Erarbeitung sehr präziser Bilanzen über die Grundwasserbelastung aus unterschiedlichen ackerbaulichen Praktiken. Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse in quantitativer und qualitativer Sicht ergänzen die Bodenwasserhaushaltsuntersuchungen und bilden in Summe eine gute Basis für die Validierung

unterschiedlicher numerischer Modellansätze. Gekoppelte Modelle unterstützen die Entscheidungsfindung für Grundwasser schonende ackerbauliche Bewirtschaftungsformen.

## J. FANK & G. v. UNOLD: Wägbares und maschinell bewirtschaftbares Lysimeter für landwirtschaftliche Freilanduntersuchungen

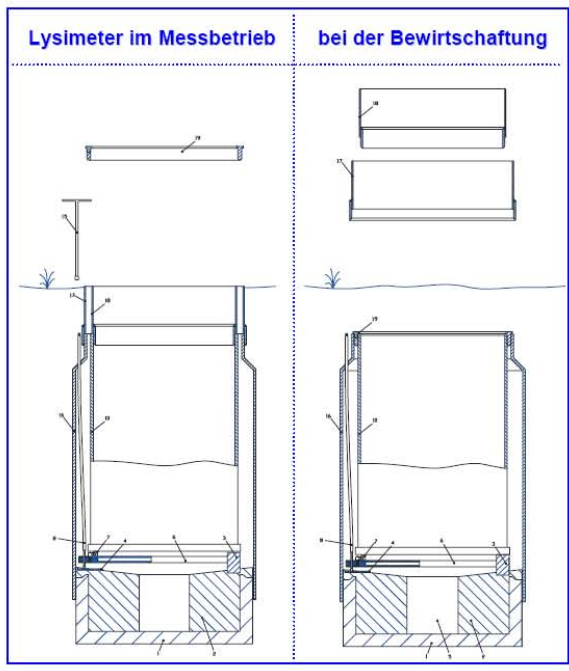
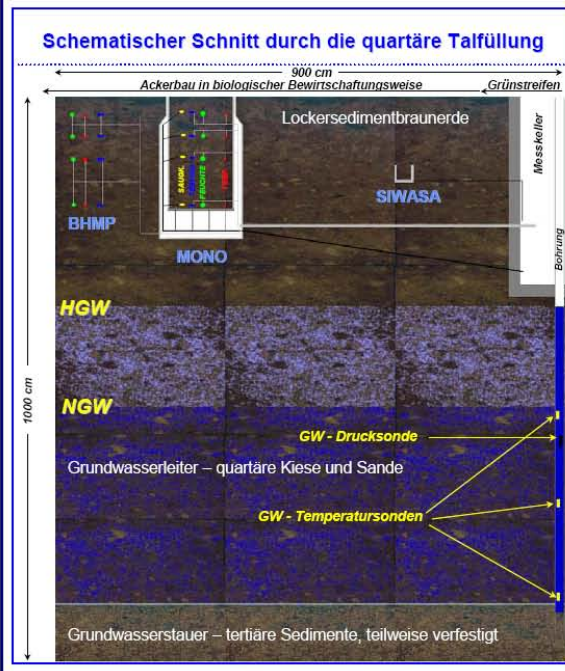
### Anforderungen, Zielsetzungen:

- Wägbare Lysimeter, die im Feld betrieben werden
- Monolithische Gewinnung bis zur Wasserscheide
- Maschinelle, ortsübliche Bewirtschaftung
- Führung des Lysimeterandes bis an die Oberfläche
- Wasserspannung angepasst an gemessene Potentiale im Feld
- Messungen im Lysimeter und im ungestörten Versuchsfeld
- Tiefengestaffelte Probenahmefähigkeiten



Lysimereinbau am Versuchsfeld Wagna:

- SIWASA = Sickerwassersammler
- MONO = wägbarer monolithischer Lysimeter
- BHMP = Bodenhydrologisches Messprofil



# Modulare Lysimeter für definierte Anwendungsschwerpunkte

J. Fank<sup>1)</sup> & G. von Unold<sup>2)</sup>

- <sup>1)</sup> JOANNEUM RESEARCH  
Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria
- <sup>2)</sup> UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
Gmunder Str. 37  
D-81379 München

## Summary

Modular Monolithic Weighable Lysimeter designs as tools for water balance and solute transport determination has been developed. Their typical applications are in soil science, agronomy, hydrology and climatology. Different needs by applications require application-oriented construction, measurement equipment, handling and data usage.

## Kurzfassung

In Kooperation zwischen UMS und JOANNEUM RESEARCH wurden im Rahmen des Kompetenznetzwerks Wasserressourcen Management ein Konzept für den Einsatz monolithischer Lysimeter entwickelt, die zur Wasserbilanzbestimmung, zu Stoffumsetzungs- und zu Stofftransportstudien eingesetzt werden können. Mit einem Präzisionswägesystem ausgestattet, können die Niederschlagshöhe aller Niederschlagsformen (Regen, Schnee, Nebel, Tau, Reif etc.), die aktuelle Verdunstungshöhe und die Sickerwasserhöhe auf 0,01 mm zeitlich hoch aufgelöst gemessen werden. Daher eignen sich diese Lysimeter besonders zur Validierung unterschiedlicher Modelle sowie für alle bodenwasserabhängigen Untersuchungen.

Vier „Standardlysimeter“ wurden definiert, deren Konstruktion, Instrumentierung und Auswertetools auf die spezifischen Anforderungen der Hydrologie, der Klimatologie, landwirtschaftlicher Untersuchungen und wissenschaftlicher Untersuchungen des Bodenwasserhaushalts abgestimmt sind.

Die Oberfläche der Lysimeter ist kreisförmig und beträgt einen Quadratmeter. Die Monolithhöhe ist in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen zwischen 1 und 2 Meter wählbar, beim „Scientific-Field-Lysimeter“ wird jedenfalls eine Höhe von zwei Meter empfohlen. Mit der patentierten x-y-z-Justagevorrichtung kann das Lysimeter jederzeit exakt positioniert werden. Dadurch beträgt der Ringspalt zum Köcher nur ca. 10 mm.

Bei bisher vielfach verwendeten Schwerkraftlysimetern geht man von frei dränendem Wasser in der Tiefe der Bodenplatte aus, was selten der Fall ist. Um Sickerwasserraten, wie sie unter natürlichen Bedingungen im ungestörten Feld herrschen, zu erzielen, wird oberhalb der Bodenplatte des Lysimeters ein SIC-Saugkerzenrechen eingesetzt. Mit diesem wird das im Feld in der Tiefe der Bodenplatte herrschende Matrixpotential (zeitlich hoch aufgelöst mittels Tensiometer gemessen) über eine gesteuerte Pumpe auf das Lysimeter übertragen.

Das UMS – Stechverfahren für die Gewinnung des Monolithen arbeitet mit einem 4-Zylinder-Synchron-Hydraulikantrieb unter permanenter optischer Kontrolle der Schnittkante. Hohlräume, Steine oder Wurzeln werden von Hand korrigiert, um einen einwandfreien Bodenkontakt zur

Lysimeterwandung zu gewährleisten. Das Heben und Wenden geschieht querkräftfrei über zentrisch angeordnete Bolzen, so dass jede Deformation und Spaltbildung vermieden wird.



**JOANNEUM RESEARCH**  
**Forschungsgesellschaft mbH**  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Hydrogeologie und Geophysik



**Johann FANK & Georg von UNOLD:**  
**Modulare Lysimeter für definierte Anwendungsschwerpunkte**



Die monolithischen Lysimeter werden

- zur Wasserbilanzbestimmung
- zu Stoffumsetzungs- und
- zu Stofftransportstudien eingesetzt.

Mit einem Präzisionswägesystem ausgestattet, können

- Niederschlagshöhe (Regen, Schnee, Tau)
- aktuelle Verdunstungshöhe und
- Sickerwasserhöhe

auf 0,01 mm zeitlich hochaufgelöst gemessen werden.

Daher eignen sich diese Lysimeter besonders zur Validierung unterschiedlicher Modellansätze sowie für alle bodenwasserabhängigen Untersuchungen.

**Wasserbilanz**

→  $P + I - ET - D - \Delta S = 0$

- P - Niederschlag
- I - Bewässerung
- ET - Verdunstung
- D - Sickerwassermenge
- ΔS - Änderung Speichereinheit

**Stoffbilanz**

→  $Dep + F - V - L - \Delta M = 0$

- Dep - atm. Deposition
- F - Düngung
- V - Vegetationsentzug und gasförmige Verluste
- L - Auswaschung
- ΔM - Änderung des Masseinhalts

→  $Dep = P * Pc + I * Ic$   
 $L = D * Dc$

**Vier Standardlysimeter wurden definiert, deren Konstruktion, Instrumentierung und Auswertetools auf die spezifischen Anforderungen abgestimmt sind:**

Hydrologie



Bodenwissenschaften



Landwirtschaft



Klimatologie



**Konstruktion:**  
 Die 1 m<sup>2</sup> große Oberfläche ist kreisförmig. Die Monolithhöhe beträgt 1 oder 2 Meter. Mit der patentierten x-y-z-Justagevorrichtung kann das Lysimeter jederzeit exakt positioniert werden. Dadurch beträgt der Ringspalt zum Köcher nur ca. 10 mm.

**Matrixpotentialübertragung:**  
 Um feldidentische Sickerwasserraten zu messen, wird das im Feld in der Tiefe der Lysimeterbodenplatte gemessene Matrixpotential auf einen SIC-Saugkerzenrechen oberhalb der Bodenplatte des Lysimeters über eine gesteuerte Pumpe übertragen. Damit kann auch ein künstlicher Grundwasserspiegel eingestellt werden.

**UMS-Entnahmetechnik:**  
 Die permanente optische Kontrolle der Schnittkante und die manuelle Korrektur von Steinen oder Wurzeln gewährleisten einen optimalen Bodenkontakt zur Lysimeterwand.

Dipl. Ing. Georg v. Unold  
 UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
 Gmunder Str. 37  
 D-81379 München

Phone: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 0  
 Fax: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 20  
 eMail: gvu@ums-muc.de  
 Internet: www.ums-muc.de

Zusätzliche Informationen über modulare Lysimetersysteme finden Sie:

Lysimetertechnik: [www.ums-muc.de/systems\\_solutions/lysimeter](http://www.ums-muc.de/systems_solutions/lysimeter)  
 Lysimeter Research Group: [www.lysimeter.at](http://www.lysimeter.at)  
 Lysimeter Testfeld Wagna: [www.lysimeter.com](http://www.lysimeter.com)

Univ. Doz. Dr. Johann Fank  
 JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz

Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393  
 Fax: +43 (0) 316 / 876 91393  
 eMail: [johann.fank@joanneum.at](mailto:johann.fank@joanneum.at)  
 Internet: [www.joanneum.at/WRM](http://www.joanneum.at/WRM)



# “HYDROLYS“ – eine Lysimeterkonfiguration zur Erfassung von Wasserbilanzparametern

J. Fank<sup>1)</sup> & G. von Unold<sup>2)</sup>

- 1) JOANNEUM RESEARCH  
Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria
- 2) UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
Gmunder Str. 37  
D-81379 München

## Summary

“HYDROLYS” is a monolithic weighable lysimeter design as a tool for water balance determination. Concerning the high accuracy of weighing resolution the parameters P, I, D and  $\Delta S$  of the water balance equation are measured directly and E can be determined for short time intervals.

## Kurzfassung

In der Hydrologie werden Lysimeter verwendet, um die Wasserbilanzgleichung zu lösen. Aus konstruktionstechnischer Sicht ist dies dabei nur für ebene Standorte möglich, an denen der Oberflächenabfluss vernachlässigt werden kann.

“HYDROLYS” ist ein monolithisches präzise wägbares Lysimeter, das als Werkzeug zur Wasserbilanzbestimmung konfiguriert ist. Generell ist die Oberfläche eines Lysimeters abhängig von der Heterogenität des Untersuchungsgebietes, eine Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> ist typisch für eine Vielzahl von Anwendungen. Um die Tiefe des Lysimeters nicht bis unter die hydraulische Wasserscheide in der ungesättigten Zone reichen lassen zu müssen ist es in 1 m Tiefe mit einer Einrichtung ausgestattet, die die Rückführung von Wasser in das Lysimeter erlaubt, um gemessenen Wasserdefizite auszugleichen. Die Wiegeauflösung liegt bei < 0.01 mm Wassersäule, das Messintervall des Gewichtes beträgt wenige Sekunden. Über dem Boden des Lysimeters ist ein Saugkerzenrechen eingebaut, der als Sickerfläche für die gesamte Lysimeteroberfläche wirkt. Die im Freiland in der Tiefe der Saugkerzen gemessenen Wasserspannungswerte werden in das Lysimeter projiziert.

Die Messdaten (Lysimetergewicht, Sickerwassergewicht, Tensionsmessungen im Freiland und im Lysimeter sowie Drehrichtung und Drehzeit der Pumpe) werden im Serviceschacht auf einen leistungsfähigen und frei konfigurierbaren Datensammler aufgezeichnet. Dieser dient auch als Steuerung für die Pumpe. Zusätzlich wird HYDROLYS auch mit einem Datenbank-Managementsystem zur Verwaltung, Auswertung und Dokumentation der Messdaten angeboten.

Durch die hohe Auflösung der Wiegedaten nach Höhe und Zeit und der zeitgleichen genauen Wägung der Sickerwassermenge bzw. des zugeführten Wassers können die Parameter der Wasserhaushaltsgleichung Niederschlag, Bewässerung, Grundwasserneubildung, Verdunstung und die Änderung des Bodenwasserspeicherinhalts für kurze Intervalle direkt abgeleitet werden.

HYDROLYS ist als innovatives Messinstrument der standortbezogenen Wasserbilanz bestens zur Kalibrierung und Validierung von numerischen Modellen der Hydrologie, der Meteorologie und des Bodenwasserhaushalts geeignet.

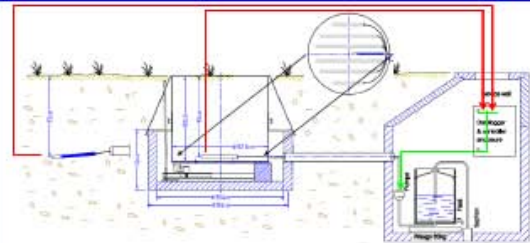
## Johann FANK & Georg von UNOLD: „HYDROLYS“ - eine Lysimeterkonfiguration zur Erfassung von Wasserbilanzparametern



Basis von hydrologischen Untersuchungen und Grundlage jeglicher Stofftransport - Fragestellung ist die detaillierte Kenntnis der Wasserbilanzparameter. Mit dem Hydro-Lysimeter werden die Bodenwasserparameter und deren Schnittstellen zu Atmosphäre und Aquifer direkt gemessen. Für einen beliebigen Zeitschritt lautet die Wasserbilanzgleichung:

$$P - ET - D - \Delta S = 0$$

- P Niederschlag
- ET aktuelle Verdunstung
- D Sickerwassermenge
- ΔS Speicheränderung



„HYDROLYS“ ist ein monolithisches präzise wägbares Lysimeter. Die im Freiland in der Tiefe der Saugkerzen gemessenen Wasserdruckwerte werden in das Lysimeter projiziert.



Einbau des Saugkerzenrechens



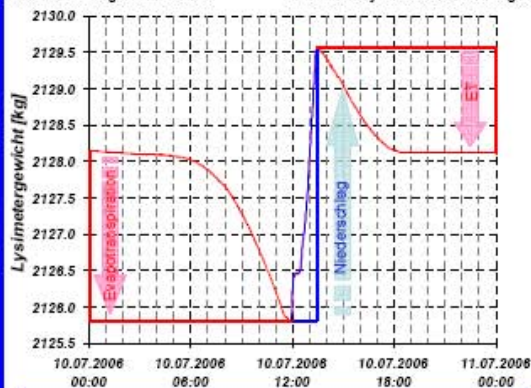
Einbau des Lysimeters auf die Wiegezellen



Lysimeter und Serviceechacht



Datensammler, Steuerung, Sickerwasserwaage



**Direkte Ableitung von Verdunstung und Niederschlag aus den Wiegedaten**



Tages-Wasserbilanz  
 $P - ET - D - \Delta S = 0$   
 $3.78 - 3.76 - 0.00 - 0.02 = 0$

**Erstellung von Wasserbilanzen für beliebige Zeitintervalle (z.B. Tage)**

**Auswertung der Dynamik der Wasserbilanzparameter aus den Wiegedaten**

Dipl. Ing. Georg v. Unold  
 UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
 Gmunder Str. 37  
 D-81379 München

Phone: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 0  
 Fax: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 20  
 eMail: gvu@ums-muc.de  
 Internet: www.ums-muc.de

Zusätzliche Informationen über modulare Lysimetersysteme finden Sie:

Lysimeter-technik: [www.ums-muc.de/systems\\_solutions/lysimeter](http://www.ums-muc.de/systems_solutions/lysimeter)  
 Lysimeter Research Group: [www.lysimeter.at](http://www.lysimeter.at)  
 Lysimeter Testfeld Wagner: [www.lysimeter.com](http://www.lysimeter.com)

Univ. Doz. Dr. Johann Fank  
 JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz

Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393  
 Fax: +43 (0) 316 / 876 91393  
 eMail: [johann.fank@joanneum.at](mailto:johann.fank@joanneum.at)  
 Internet: [www.joanneum.at/WRM](http://www.joanneum.at/WRM)

# “AGROLYS“ – eine Lysimeterkonfiguration zum Langzeitmonitoring landwirtschaftlich bewirtschafteter Flächen

J. Fank<sup>1)</sup> & G. von Unold<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> JOANNEUM RESEARCH

Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

<sup>2)</sup> UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH

Gmunder Str. 37  
D-81379 München

## Summary

“AGROLYS” is a monolithic lysimeter design as a tool for measurement of root water stress, leaching water amount and solute freight under field conditions of a commonly cultivated field. To cultivate the field (and the Lysimeter) mechanically the upper ring with a height of 35 cm is removed. Measurement of seepage water amount is done by a capsulated tipping bucket with a resolution of 100 ml (0.1 mm), sampling of 2.5 % of total amount is done automatically.

## Kurzfassung

Das Agro-Lysimeter ist ein nicht wägbares, monolithisches Feldlysimeter. Es hat einen abnehmbaren, abgedichteten Ring mit 35 cm Höhe zur konventionellen Feldbewirtschaftung. Dieser wird vor der Bewirtschaftung abgenommen. Nach der Bewirtschaftung wird der Bearbeitungsring wieder aufgesetzt und abgedichtet. Der schmale Ringspalt wird von Hand rückverfüllt und die oberen Messsonden werden wieder von oben eingesetzt.

Typische Anwendung ist das Langzeit - Monitoring der Wasser- und Nährstoffsituation in Böden von bewirtschafteten Flächen. Der Sickerwasseraustrag wird mit einer Auflösung von 0,1 mm über einen gekapselten Kippzähler erfasst. Daran gekoppelt ist eine Probenahmeeinrichtung, die jeweils 2,5% des Sickerwassers einer Probenflasche zuführt. Damit können über definierte Zeiträume mengengewichtete Mischproben gewonnen werden. Die Proben können im Labor auf deren Inhaltsstoffe analysiert und Stoff-Austragsfrachten berechnet werden.

Die Höhe des Bodenmonolithen ist zwischen einem und zwei Meter wählbar. Zur Nachförderung des von den Pflanzen aufgenommenen Wassers ist oberhalb der Bodenplatte ein Matrixpotentialrechen eingebaut. Durch eine mittels Datenlogger gesteuerte Pumpe wird dem Monolithen entsprechend des Matrixpotentials des umgebenden Freilandbodens Wasser entzogen bzw. zugeführt. Dazu wird das Matrixpotential im Monolithen und im ungestörten Freiland in der Höhe des Saugkerzenrechens mittels Tensiometermessungen erfasst. Wasserspannung und Wassergehalt werden in der Tiefe der Hauptwurzelverteilung gemessen. Zur tiefengestaffelten Bodenwasserprobennahme zwecks Erfassung von Stoffkonzentrationen im Lysimeter können in frei wählbaren Tiefen zusätzliche Saugkerzen eingebaut werden.

Im Bereich der Forschungsstation Wagna sind zwei Agro-Lysimeter unter unterschiedlich bewirtschafteten Flächen – jeweils ein Lysimeter unter konventioneller und unter organisch biologischer Bewirtschaftung - als wägbare monolithische Feldlysimeter realisiert. Dadurch können in Kombination von Wasserbilanzgrößen mit der Erfassung der Stoffzufuhr (Düngung, Deposition) und des Stoffentzugs durch die Vegetationsdecke detaillierte Stoffbilanzen erstellt

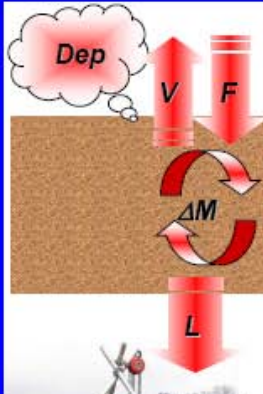
werden.



**JOANNEUM RESEARCH**  
**Forschungsgesellschaft mbH**  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Hydrogeologie und Geophysik



## Johann FANK & Georg von UNOLD: „AGROLYS“ - eine Lysimeterkonfiguration zum Langzeitmonitoring bewirtschafteter Flächen



Das Agro-Lysimeter ist ein nicht wägbares, monolithisches Feldlysimeter. Typische Anwendung ist das Langzeit - Monitoring der Wasser- und Nährstoff-situation in Böden von bewirtschafteten Flächen. Die Messung des Sickerwasseraustrags erfolgt durch die Erfassung der Sickerwassermenge und der daran gekoppelten automatisierten Sickerwasserproben-nahme. Die Proben können im Labor auf deren Inhaltsstoffe analysiert und Stoff-Austragsfrachten berechnet werden.

Durch eine mittels Datenlogger gesteuerte Pumpe wird dem Monolithen entsprechend des Matrixpotentials des umgebenden Freilandbodens Wasser entzogen bzw. zugeführt. Zur tiefengestaffelten Bodenwasser-probenahme zwecks Erfassung von Stoffkonzentrationen im Lysimeter können in frei wählbaren Tiefen zusätzliche Saugkerzen eingebaut werden.

### Stoffbilanz

$$\rightarrow Dep + F - V - L - \Delta M = 0$$

- Dep = atm. Deposition
  - F = Düngung
  - V = Vegetationsentzug und gasförmige Verluste
  - L = Auswaschung
  - ΔM = Änderung des Masseinhalts
- $$\rightarrow Dep = P * Pc + I * Ic$$
- $$L = D * Dc$$
- P = Niederschlag
  - I = Bewässerung
  - D = Sickerwassermenge
  - c = Stoffkonzentration



Abnahme Bewirtschaftungsring



Pflügen des Feldes und des Lysimeters



Aufsetzen des Bewirtschaftungsringes



Lysimeter in Betrieb



AGROLYS-Monolith nach Entnahme



Tiefengestaffelte Saugkerzen zur Probenahme



Oberflächennahe Messinstrumente



Sickerwassermessung und -beprobung

Stoffaustrag von 01.10.2004 bis 01.06.2005

Parameter	Einheit	Lysimeter 1	Lysimeter 2
cum. SW Summe	mm	559	507
MW el. Leitfähigkeit	µS/cm <sup>2</sup>	344	483
MW pH-Wert	-	7.28	7.38
Mittlere gemessene Konzentrationen			
Parameter	Einheit	Lysimeter 1	Lysimeter 2
Natrium	mg/l	7.34	5.57
Kalium	mg/l	0.51	0.59
Magnesium	mg/l	5.02	5.43
Calcium	mg/l	57.35	57.17
Chlorid	mg/l	12.44	8.24
Nitrat	mg/l	40.75	62.95
Sulphat	mg/l	43.42	44.59

### Feldlysimeter Wagna Stoffaustrag zweier AGRO-Lysimeter

Nährstoffaustrag			
Parameter	Einheit	Lysimeter 1	Lysimeter 2
Natrium	kg/ha <sup>1</sup>	40.50	33.87
Kalium	kg/ha <sup>1</sup>	4.93	3.60
Magnesium	kg/ha <sup>1</sup>	29.51	33.70
Calcium	kg/ha <sup>1</sup>	345.81	545.02
Chlorid	kg/ha <sup>1</sup>	67.19	47.43
Nitrat	kg/ha <sup>1</sup>	238.68	439.71
Sulphat	kg/ha <sup>1</sup>	233.63	259.33

### Feldlysimeter Wagna

In Wagna sind zwei AGROLYS als wägbare monolithische Feldlysimeter realisiert. Dadurch können in Kombination von Wasserbilanzgrößen mit der Erfassung der Stoffzufuhr (Deposition, Düngung) und des Stoffentzugs durch die Vegetationsdecke genaue Stoffbilanzen erstellt werden.

Dipl. Ing. Georg v. Unold  
 UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
 Gmünder Str. 37  
 D-81379 München

Phone: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 0  
 Fax: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 20  
 eMail: [gvu@ums-muc.de](mailto:gvu@ums-muc.de)  
 Internet: [www.ums-muc.de](http://www.ums-muc.de)

Zusätzliche Informationen über modulare Lysimetersysteme finden Sie:

Lysimeter-technik: [www.ums-muc.de/systems\\_solutions/lysimeter](http://www.ums-muc.de/systems_solutions/lysimeter)  
 Lysimeter Research Group: [www.lysimeter.at](http://www.lysimeter.at)  
 Lysimeter Testfeld Wagna: [www.lysimeter.com](http://www.lysimeter.com)

Univ. Doz. Dr. Johann Fank  
 JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz

Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393  
 Fax: +43 (0) 316 / 876 91393  
 eMail: [johann.fank@joanneum.at](mailto:johann.fank@joanneum.at)  
 Internet: [www.joanneum.at/WRM](http://www.joanneum.at/WRM)

# “METEOLYS“ – eine HYDROLYS-Erweiterung zur Ermittlung von Pflanzen-Verdunstungskoeffizienten

J. Fank<sup>1)</sup> & G. von Unold<sup>2)</sup>

1) JOANNEUM RESEARCH  
Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

2) UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
Gmunder Str. 37  
D-81379 München

## Summary

“METEOLYS” is an extension to the HYDROLYS – Lysimeter to measure meteorological parameters for the calculation of the ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation (WALTER et al., 2005). Combining measured  $ET_r$  and calculated  $ET_{ref}$  crop coefficients and water stress coefficients are determined.  $ET_r$  is split into evaporation and transpiration.

## Kurzfassung


Auch im humiden Klimabereich ist die Verdunstung in der Wasserbilanzgleichung nach dem Niederschlag die wichtigste Bilanzgröße. Mit HYDROLYS kann die aktuelle Standortverdunstung in kurzen Zeitintervallen exakt gemessen werden. METEOLYS ist eine Erweiterung des Hydrologie-Lysimeters zur Messung von meteorologischen Parametern, aus denen die Gras-Referenzverdunstung berechnet werden kann.

Aus der gemessenen Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchte, der Windgeschwindigkeit und der Energiezufuhr über die Globalstrahlung kann nach der „ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation“ (WALTER et al., 2005) die Verdunstung eines definierten Gras – Standortes bei dauernd ausreichender Wasserversorgung berechnet werden. Seitens der ASCE (American Society for Civil Engineering) wurde die Penman-Monteith Gleichung durch zeitliche Modifikation des aerodynamischen Widerstands und des Oberflächenwiderstands abgeändert, sodass bei Vorliegen der entsprechenden Wetterdaten die Referenzverdunstung für kurze Zeitintervalle berechnet werden kann.


Die Berechnung der aktuellen Verdunstung eines definierten Standortes erfolgt durch die Einführung von Pflanzenverdunstungs-Koeffizienten, mit denen die Referenzverdunstung multipliziert wird:  $ET_r = ET_{ref} * (K_s * K_{cb} + K_e)$ , wobei  $ET_r$  = aktuelle Verdunstung;  $ET_{ref}$  = Referenzverdunstung;  $K_s$  = Wasserstress-Koeffizient,  $K_{cb}$  = Transpirationskoeffizient;  $K_e$  = Evaporationskoeffizient.

Aus der Relation der gemessenen aktuellen Verdunstungswerte und der berechneten Referenzverdunstung können mit Hilfe von METEOLYS die Pflanzen-Verdunstungskoeffizienten und bodenabhängigen Wasserstress-Koeffizienten und deren zeitliche Dynamik exakt erfasst werden. Eine Aufteilung der Gesamtverdunstung in einen Evaporations- und einen Pflanzentranspirationsteil ist möglich.


WALTER, I. A., R. G. ALLEN, R. ELLIOTT, D. ITENFISU, P. BROWN, M. E. JENSEN, B. MECHAM, T. A. HOWELL, R. SNYDER, S. ECHING, T. SPOFFORD, M. HATTENDORE, D. MARTIN, R. H. CUENCA & J. L. WRIGHT (2005): The



**JOANNEUM RESEARCH**  
**Forschungsgesellschaft mbH**  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Hydrogeologie und Geophysik



**Johann FANK & Georg von UNOLD:**  
**„METEOLYS“ - eine HYDROLYS - Erweiterung zur Ermittlung**  
**von Pflanzen - Verdunstungskoeffizienten**

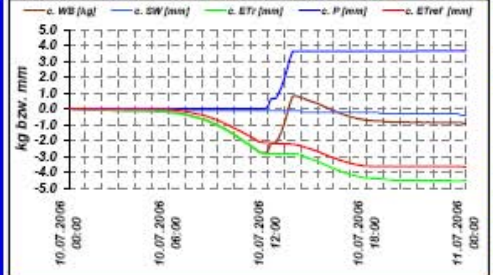


METEOLYS ist eine Erweiterung des Hydrologie-Lysimeters zur Messung von meteorologischen Parametern, aus denen die Gras-Referenzverdunstung berechnet werden kann. Aus der gemessenen Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchte, der Windgeschwindigkeit und der Energiezufuhr über die Globalstrahlung kann nach der „ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation“ (WALTER et al., 2005) die Verdunstung eines definierten Gras – Standortes bei dauernd ausreichender Wasserversorgung für beliebige Zeitschritte berechnet werden.

$$ET_{ref} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)}$$

$ET_{ref}$  = Gras – Referenzverdunstung [mm]  
 $R_n$  = Strahlungsbilanz [MJ m<sup>-2</sup>]  
 $G$  = Bodenwärmestromdichte [MJ m<sup>-2</sup>]  
 $T$  = mittlere Temperatur [°C]  
 $u_2$  = mittlere Windgeschwindigkeit [m s<sup>-1</sup>]  
 $e_s$  = Sättigungsdampfdruck [kPa]  
 $e_a$  = Aktueller Dampfdruck [kPa]  
 $\Delta$  = Steigung Dampfdruck - Temperaturkurve [kPa °C<sup>-1</sup>]  
 $\gamma$  = Psychrometrikonstante [kPa °C<sup>-1</sup>]  
 $C_n$  = zeitschrittabhängige Zählerkonstante [K mm s<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup>]  
 $C_d$  = zeitschrittabhängige Nennerkonstante [s m<sup>-1</sup>]

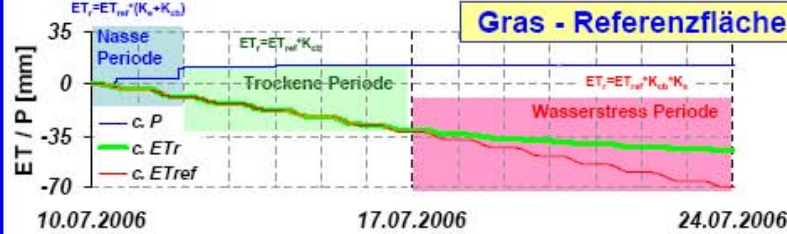
Wasserbilanz				P - ET - D - ΔS = 0			
Niederschlag P [mm]				3.68			
ETr [mm]				4.16			
Sickerwasser SW [mm]				0.40			
Wiegebilanz WB [kg]				-0.88			

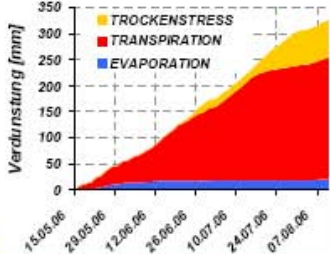


**Futtergrünland**

Links:  
Mit HYDROLYS gemessene Wasserbilanzparameter und berechnete Referenzverdunstung

Rechts:  
ET-Vergleich und berechnete Pflanzenkoeffizienten auf Stunden und Tagesbasis





**Ableitung von Perioden des Wasserstresses aus HYDROLYS-Messungen und METEOLYS – Berechnungen als Basis für die Ks - Bestimmung**

**Verdunstungskomponenten**

WALTER, I. A., R. G. ALLEN, R. ELLIOTT, D. ITENFISU, P. BROWN, M. E. JENSEN, B. MECHAM, T. A. HOWELL, R. SNYDER, S. ECHING, T. SPOFFORD, M. HATTENDORF, D. MARTIN, R. H. CUENCA & J. L. WRIGHT (2005): The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. ASCE-EWRI Task Committee Report. 59 S.

Dipl. Ing. Georg v. Unold  
 UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH  
 Gmunder Str. 37  
 D-81379 München  
 Phone: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 0  
 Fax: +49 (0) 89 / 12 66 52 - 20  
 eMail: gu@ums-muc.de  
 Internet: www.ums-muc.de

Zusätzliche Informationen über modulare Lysimetersysteme finden Sie:  
 Lysimetertechnik: www.ums-muc.de/systems\_solutions/lysimeter  
 Lysimeter Research Group: www.lysimeter.at  
 Lysimeter Testfeld Wagner: www.lysimeter.com

Univ. Doz. Dr. Johann Fank  
 JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz  
 Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393  
 Fax: +43 (0) 316 / 876 91393  
 eMail: johann.fank@joanneum.at  
 Internet: www.joanneum.at/WRM

# Die Erfassung des Stationsniederschlags mit unterschiedlichen Mess- und Auswertansätzen

J. Fank

JOANNEUM RESEARCH  
Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## Summary

Precipitation measurement in the field is connected with methodical measurement errors due to the measurement system (tipping bucket, precipitation balance ...). To quantify these errors at research station Wagna different systems for measuring precipitation have been implemented: a precipitation balance (150 cm above surface), a heated tipping bucket (100 cm above surface), a surface even tipping bucket and a weekly depleted totalizer for controlling purposes. The precise weighing lysimeters are able to measure precipitation at the surface of 1 m<sup>2</sup>.

The results over an investigation period of 2 years showed an under-estimation of precipitation during the winter month by tipping buckets (~20 %) and by the precipitation balance (25 %). During summer months measured precipitation using a tipping bucket equals lysimeter measurement. Precipitation balance measurement under-estimates lysimeter results of about 7 %.

## Kurzfassung

Die Erfassung des Niederschlags an Messstationen wird in der Fachliteratur mit unterschiedlichen systembedingten Messfehlern kommentiert. Die wesentlichsten Abweichungen des erfassten Niederschlags vom tatsächlichen Niederschlag werden dabei den unterschiedlichen Windeinflüssen aufgrund differenzierter Höhenlage der Auffanggefäße über Gelände, unterschiedlichen Auffangflächen sowie den Verdunstungsverlusten aus den Auffanggefäßen zugeschrieben. Besonders bei Starkniederschlagsereignissen wird bei der häufig verwendeten hydrologischen Wippe auch den Verlusten über den Registrierungsmechanismus Bedeutung beigemessen.

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Erfassungsmethoden des Niederschlags auf die Messgröße untersuchen zu können, wurde die Forschungsstation Wagna mit verschiedenen Messsystemen ausgestattet. Neben der beheizten Niederschlagswippe der teilautomatischen Wetterstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik mit der Auffangfläche in 100 cm über Gelände wurde seitens des Hydrografischen Dienstes des Landes Steiermark eine Niederschlagswaage mit einer etwas kleineren Auffangfläche in 150 cm über Gelände errichtet. Zusätzlich wurde eine bodengleiche Niederschlagswippe installiert, die aufgrund einer fehlenden Heizung nur in den Sommermonaten relevante Messdaten liefert. Zusätzlich messen die drei präzise wiegenden Monolithlysimeter der Forschungsstation den auf den Boden bzw. die Vegetation fallenden Bestandsniederschlag auf einer Auffangfläche von 1 m<sup>2</sup> mit einer Auflösung von 0.01 bis 0.1 mm.

Ein Vergleich der Ergebnisse erlaubt die Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Konfigurationen auf das Messergebnis. Während bei Sommerereignissen zwischen den Ergebnissen der Wippenmessungen (bodengleich bzw. in 100 cm über Gelände) und den Auswertungen der Lysimetergewichte praktisch keine Unterschied bestehen, zeigt die Niederschlagswaage geringere Niederschläge an. Während der Wintermonate zeigen sowohl

Wippe als auch Waage deutlich geringere Niederschlagssummen als die Lysimetermessungen. Über einen Zeitraum von zwei Jahren muss bei der Messung des Niederschlags mit Standardverfahren am Standort Wagner mit einer Unterschätzung des Bestandsniederschlags von etwa 20-25 % im Winter und etwa 7-13 % in der Jahressumme gerechnet werden.

Univ. Doz. Dr. Johann Fank  
 JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz

Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393  
 Fax: +43 (0) 316 / 876 91393  
 eMail: johann.fank@joanneum.at  
 Internet: www.joanneum.at/WRM

**JOANNEUM RESEARCH**  
 Forschungsgesellschaft mbH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Hydrogeologie und Geophysik

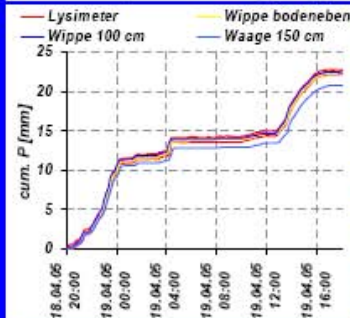


## Johann FANK : Die Erfassung des Stationsniederschlags mit unterschiedlichen Mess- und Auswertansätzen

Die Erfassung des Niederschlags an Messstationen wird in der Fachliteratur mit unterschiedlichen systembedingten Messfehlern kommentiert. Die wesentlichsten Abweichungen des erfassten Niederschlags vom tatsächlichen Niederschlag werden dabei den Windeinflüssen sowie den Verdunstungsverlusten aus den Auffanggefäßen zugeschrieben. Besonders bei Starkniederschlagsereignissen wird bei der häufig verwendeten hydrologischen Wippe auch den Verlusten über den Registrierungsmechanismus Bedeutung beigemessen. Um die Auswirkungen unterschiedlicher Erfassungsmethoden des Niederschlags auf die Messgröße untersuchen zu können, wurde die Forschungsstation Wagner mit unterschiedlichen Messsystemen ausgestattet. Ein Vergleich der Ergebnisse erlaubt die Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Konfigurationen auf das Messergebnis



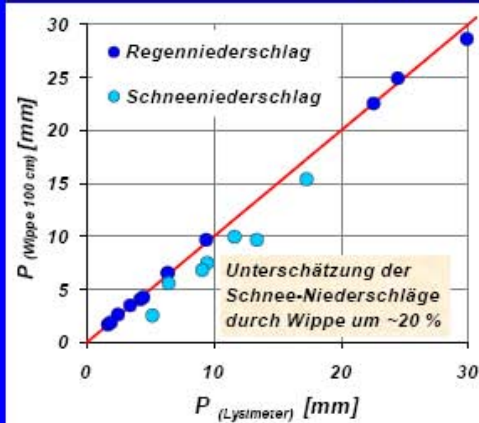
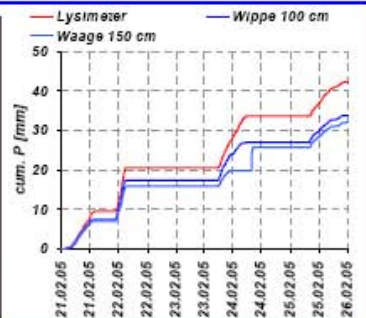
**Niederschlagswaage, Totalisator, Niederschlagswippe**      **Bodenebene Niederschlagswippe**      **Wägbares Präzisionslysimeter**



**Bild links:**  
 Die kumulierten Niederschlagssummen von Sommerereignissen zeigen praktisch idente Verläufe von Lysimetermessungen und Wippenaufzeichnungen.

**Bild rechts:**  
 Schneeniederschläge werden durch die Wippen- und Waageaufzeichnungen unterschätzt.

**Bild unten:**  
 Die Auswertung von Einzelereignissen zeigt eine Unterschätzung der Schneeniederschläge durch die Wippenaufzeichnungen um etwa 20 %



Die Auswertung der Niederschläge über zwei Jahre zeigt eine Unterschätzung der mittels Wippe gemessenen Winterniederschläge um etwa 20 %, die sich in der Jahressumme mit ca. 7% auswirkt. Die niedrigeren Werte der Waage könnten auf die kleinere Auffangfläche und höhere Aufstellung (150 cm über Gelände) zurückzuführen sein.

Zeitraum	Niederschlag [mm]		
	Niederschlagswaage	Niederschlagswippe	Lysimeter
10/04 - 03/05	226	231	328
04/05 - 09/05	617	661	656
10/05 - 03/06	238	248	280
04/06 - 09/06	582	628	638
Winter	463	479	608
Sommer	1200	1289	1294
Summe	1663	1768	1902
	% von Lysimeter		
Winter	76%	79%	100%
Sommer	93%	100%	100%
Summe	87%	93%	100%



# Gemessene Erträge und Stoffentzüge an den Lysimetern in Wagna

J. Fank

JOANNEUM RESEARCH  
Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

## Summary

As part of the basis for calculating the mass balance of the lysimeters samples of the crops are analyzed on their content on nutrients and trace elements. Yield on lysimeters are compared to yield on the fields (1000 m<sup>2</sup>), where the lysimeters are built.

In 2005 on both lysimeters pumpkins has been planted. Yield on both lysimeters was higher than the yield in the corresponding field. In 2006 the “BIO” lysimeter was planted with a clover – grass mix, where the plants were mulched 4 times during the season. Yield on the “KON” Lysimeter planted with maize was very well comparable to yield in the field.

## Kurzfassung

Für die Erstellung von Stoffbilanzen an den beiden Feldlysimetern der Forschungsstation Wagna werden Proben aller Teile des Erntegutes entnommen und auf ihre Inhaltsstoffe analysiert. Diese Analyseergebnisse sind die Grundlage für die Erstellung geschlossener Stoffbilanzen. Die Ernteerträge auf den Lysimetern werden mit den Erträgen der Lysimeterparzellen (1000 m<sup>2</sup>) verglichen, um damit belegen zu können, dass die an den Lysimetern im Detail gemessenen Wasser- und Stoffbilanzen repräsentativ für das gesamte Untersuchungsgebiet ist.

Im Jahr 2005 war auf beiden Lysimeterparzellen und auch auf den Lysimetern Kürbis für die Gewinnung von Kürbiskernöl gepflanzt. Ein Spezifikum der Kürbisuntersuchungen an Lysimetern stellt die Pflanzenentwicklung dar: Durch die Rankenentwicklung sind die auf dem Boden im Lysimeter gewachsenen Kürbisse oft erst in großer Entfernung von den Lysimetern zu finden. Im Vergleich zu den Ernteerträgen auf der „BIO“ – Parzelle (783 kg/ha) lagen die Erträge auf dem BIO-Lysimeter mit 1410 kg/ha deutlich, auf dem KON-Lysimeter mit 910 kg/ha gegenüber 798 kg/ha auf der entsprechenden Parzelle leicht höher. Von spezifischem Interesse ist der Stickstoffgehalt der Pflanzenteile: rückgerechnet auf den Kornertrag in den Lysimeterparzellen wurden nicht mehr als etwa 40 kg Stickstoff je Hektar abgeführt. Die übliche Düngung im weiteren Untersuchungsgebiet von etwa 80 kg N/ha ist aus diesen Untersuchungen für die seichtgründigen Bodenstandorte des Murtales sicherlich zu hoch. Ein bedeutender Anteil des Stickstoffs verbleibt über die Ernterückstände (v.a. Fruchtfleisch und Schale) in organischer Form auf dem Feld.

Im Jahr 2006 wurde die „BIO“-Parzelle durch Futtergrünland genutzt, das 4 Mal gemulcht wurde. Insgesamt wurde im geschnittenen Gras bei einer Trockenmasse von etwa 10.000 kg mehr als 270 kg N/ha analysiert. Dieser Stickstoff in organischer Form verbleibt als Stickstoffvorrat auf dem Feld.

Auf der konventionell bewirtschafteten Parzelle war Mais angebaut, der am 02.10.2006 sowohl auf der Parzelle als auch am Lysimeter geerntet wurde. Der Maisertrag (Korn) am Lysimeter mit 8150 kg/ha Trockengewicht war nach ersten Auswertungen nahezu ident mit dem Kornertrag der gesamten Parzelle. In den vom Feld abgeführten Maiskörnern wurden etwa 137 kg N/ha gefunden.

Auffallend ist der hohe Stickstoffentzug über die Maiskolben und -blätter (am Lysimeter etwa 145 kg), die als Ernterückstand am Feld (Lysimeter) verbleiben. Bei einer Stickstoffzufuhr von etwa 120 kg/ha erscheint die Düngung sehr gut auf den Pflanzenentzug ausgelegt zu sein.

Univ. Doz. Dr. Johann Fank  
 JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz

Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393  
 Fax: +43 (0) 316 / 876 91393  
 eMail: johann.fank@joanneum.at  
 Internet: www.joanneum.at/WRM

**JOANNEUM RESEARCH**  
 Forschungsgesellschaft mbH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Hydrogeologie und Geophysik



## Johann FANK : Gemessene Erträge und Stoffentzüge an den Lysimetern in Wagna

Für die Erstellung von Stoffbilanzen an den beiden Feldlysimetern der Forschungsstation Wagna werden Proben aller Teile des Erntegutes genommen und auf ihre Inhaltsstoffe analysiert. Diese Analyseergebnisse sind die Grundlage für die Erstellung geschlossener Stoffbilanzen. Die Ernteerträge auf den Lysimetern werden mit den Erträgen der Lysimeterparzellen (1000 m<sup>2</sup>) verglichen, um damit belegen zu können, dass die an den Lysimetern im Detail gemessenen Wasser- und Stoffbilanzen repräsentativ für das gesamte Untersuchungsgebiet ist.



Material	BIO				KON				
	Rankenmaterial	Kürbiskörner	Fruchtfleisch	Lysimeter	fauler Kürbis	Rankenmaterial	Kürbiskörner	Fruchtfleisch	Lysimeter
Trockengewicht [kg]	0,030	0,141	0,366	0,637	0,053	0,038	0,051	0,139	0,319
Ernte- (Nasse)gewicht [kg]	0,033	0,233	6,544	6,810	0,0297	0,042	0,1477	1,847	2,133
Wassergehalt [kg]	0,003	0,092	6,178	6,273	0,044	0,006	0,0266	1,708	1,814
Stickstoff (Kjeholdahl) [g/100g]	1,582	5,895	1,965	4,890	1,500	1,500	5,890	1,556	1,556
[kg/ha]	4,674	82,891	72,010	159,576	25,898	5,460	50,866	22,096	104,299
Phosphor [g/100g]	0,180	1,000	0,186	0,657	1,080	0,300	1,140	0,290	0,319
[kg/ha]	0,539	14,073	6,780	21,362	5,561	1,090	10,360	4,017	21,088
Kalium [g/100g]	0,740	0,520	3,818	3,961	1,700	0,930	0,860	4,620	4,620
[kg/ha]	2,217	7,319	139,809	149,341	5,004	3,379	6,015	63,999	82,396
Calcium [g/100g]	4,420	0,060	0,666	0,820	4,320	3,890	0,060	0,360	0,360
[kg/ha]	13,244	0,704	24,003	27,961	13,440	13,040	0,547	4,848	22,781
Kohlenstoff (Asche) [g/100g]	61,330	89,300	83,750	86,100	66,100	64,000	84,700	82,400	82,400
[kg/ha]	183,380	134,179	306,139	459,662	486,003	232,512	863,096	114,446	2693,057
Magnesium [g/100g]	0,390	0,390	0,208	0,460	0,460	0,360	0,460	0,140	0,140
[kg/ha]	0,839	5,488	7,513	13,840	2,383	0,946	4,192	1,939	9,460
Bor [mg/1000g]	22,400	25,400	48,200	39,600	11,400	11,400	22,200	47,200	47,200
[kg/ha]	0,007	0,038	0,177	0,219	0,021	0,004	0,020	0,066	0,111
Mangan [mg/1000g]	316,100	47,800	17,400	115,400	381,600	44,700	7,750	7,750	7,750
[kg/ha]	0,099	0,087	0,064	0,226	0,061	0,139	0,041	0,011	0,261
Natrium [mg/1000g]	111,600	19,700	46,550	27,300	139,700	17,600	36,950	36,950	36,950
[kg/ha]	0,033	0,016	0,171	0,223	0,214	0,050	0,016	0,054	0,139
Kupfer [mg/1000g]	12,320	12,250	8,380	15,660	10,360	10,110	7,515	7,515	7,515
[kg/ha]	0,004	0,017	0,031	0,062	0,008	0,004	0,009	0,011	0,032
Zink [mg/1000g]	53,600	59,000	33,850	92,700	51,600	118,800	25,300	25,300	25,300
[kg/ha]	0,016	0,139	0,124	0,279	0,049	0,019	0,108	0,041	0,217
Eisen [mg/1000g]	874,000	102,600	289,900	1406,300	1067,900	118,800	120,300	120,300	120,300
[kg/ha]	2,629	0,144	1,059	3,832	0,745	3,879	0,109	0,167	4,896

Kürbisernte im September 2005: Ein Spezifikum der Kürbisuntersuchungen an Lysimetern stellt die Pflanzenentwicklung dar: Durch die Rankenentwicklung sind die auf dem Boden im Lysimeter gewachsenen Kürbisse oft erst in großer Entfernung von den Lysimetern zu finden. Im Vergleich zu den Ernteerträgen auf der „BIO“ – Parzelle (783 kg/ha) lagen die Erträge auf dem BIO-Lysimeter mit 1410 kg/ha deutlich, auf dem KON-Lysimeter mit 910 kg/ha gegenüber 798 kg/ha auf der entsprechenden Parzelle leicht höher.



Material	BIO				Lysimeter	KON	
	Grac 20090610	Grac 20090613	Grac 20090609	Grac 20090628		Maiskolben u. Blätter	Lysimeter
Trockengewicht [kg]	0,219	0,183	0,364	0,270	1,036	0,819	2,153
Ernte- (Nasse)gewicht [kg]	1,790	1,541	1,715	2,387	7,393	3,577	4,822
Wassergehalt [kg]	1,531	1,358	1,351	2,117	6,357	2,239	2,669
Stickstoff (Kjeholdahl) [g/100g]	2,100	2,410	2,820	2,940	10,270	1,090	1,690
[kg/ha]	45,938	44,194	102,614	79,298	271,944	145,832	137,782
Phosphor [g/100g]	0,322	0,340	0,290	0,360	1,312	0,170	0,330
[kg/ha]	7,044	6,236	10,542	9,710	33,531	22,744	26,904
Kalium [g/100g]	3,040	3,435	2,780	3,370	12,530	1,110	0,380
[kg/ha]	66,900	82,895	101,060	90,896	321,366	148,598	29,380
Calcium [g/100g]	0,814	0,950	1,450	1,470	4,684	0,460	0,010
[kg/ha]	17,806	17,421	52,711	39,649	127,587	60,206	0,815
Kohlenstoff (Asche) [g/100g]	90,100	88,300	87,600	88,100	366,100	94,400	99,600
[kg/ha]	1970,938	1637,674	3184,478	2376,241	9169,230	12629,872	8030,493
Magnesium [g/100g]	0,148	0,190	0,270	0,340	0,849	0,120	0,130
[kg/ha]	3,259	3,484	9,815	6,473	23,032	16,055	10,599
Bor [mg/1000g]	31,300	20,700	17,100	21,100	90,200	5,200	1,800
[kg/ha]	0,068	0,038	0,062	0,067	0,226	0,070	0,019
Mangan [mg/1000g]	46,200	47,300	70,300	60,400	214,300	37,600	6,500
[kg/ha]	0,101	0,097	0,239	0,136	0,579	0,093	0,556
Natrium [mg/1000g]	200,000	346,200	473,200	469,000	1488,400	66,000	35,000
[kg/ha]	0,438	0,636	1,720	1,266	4,068	0,738	0,288
Kupfer [mg/1000g]	6,380	8,970	6,740	8,740	31,430	8,120	2,120
[kg/ha]	0,012	0,016	0,032	0,024	0,083	0,109	0,017
Zink [mg/1000g]	24,900	26,600	22,300	22,300	96,000	26,900	21,700
[kg/ha]	0,054	0,049	0,061	0,060	0,244	0,347	0,177
Eisen [mg/1000g]	317,000	196,600	862,500	346,500	1742,800	267,100	30,200
[kg/ha]	0,693	0,361	3,208	0,935	5,197	3,574	0,246

Im Jahr 2006 wurde die „BIO“-Parzelle durch Futtergrünland genutzt, das 4 mal gemulcht wurde. Auf der konventionell bewirtschafteten Parzelle war Mais angebaut, der am 02.10.2006 sowohl auf der Parzelle als auch am Lysimeter geerntet wurde. Der Maisertrag (Korn) am Lysimeter mit 8150 kg/ha Trockengewicht war nach ersten Auswertungen nahezu ident mit dem Kornertrag der gesamten Parzelle. Auffallend ist der hohe Stickstoffentzug über die Maiskolben und -blätter, die als Ernterückstand am Feld (Lysimeter) verbleiben

# Gemessene Wasser- und Stoffbilanzen an den Lysimetern in Wagna

J. Fank

JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement –  
 Hydrogeologie und Geophysik  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz – Austria

## Summary

The precise weighing monolithic lysimeters at the agricultural test area Wagna give us the possibility to determine water balance parameters from lysimeter weight data. Using analysis results of seepage water allow the calculation of nutrient freights towards groundwater. Nitrogen leaching to groundwater only can be explained, taking into account cropping and tillage more than 5 years ago.

## Kurzfassung

Die monolithischen Präzisionslysimeter am Versuchsfeld Wagna erlauben die Ableitung der Wasserbilanzgrößen aus den Wiegedaten, sodass allein aufgrund der Lysimetermessungen die Erstellung geschlossener Wasserbilanzen möglich ist. Die Monats- und Jahreswasserbilanzgrößen für die beiden Feldlysimeter unter organisch-biologischer und unter konventioneller Bewirtschaftung sind für die Jahre 2005 und 2006 dargestellt.

In Kombination mit der hydrochemischen Analyse der Sickerwässer auf die Hauptinhaltsstoffe ist es möglich, die Nährstofffrachten in Richtung Grundwasser für beliebige Zeiträume zu bilanzieren. Die Bilanz vom 01.10.2004 bis 30.06.2006 zeigt für Lysimeter 1 (konventionelle Bewirtschaftung) hohe Auswaschungen von Kalzium, Nitrat und Sulfat, wobei die Trinkwassergrenzwerte in keinem Fall überschritten werden. Am Lysimeter 2 (organisch-biologisch bewirtschaftet) liegen die Auswaschungen dieser Stoffe noch deutlich höher, hier wird im Mittel der zulässige Trinkwassergrenzwert an Nitrat mit etwa 61 mg/l überschritten.

Betrachtet man die Entwicklung des Stickstoffaustrags im Vergleich der beiden Lysimeter, so fällt eine abrupte Steigerung der Austragssumme am Lysimeter 2 zwischen September 2005 und März 2006 auf. Die Ursache dafür kann nicht in der aktuellen, sondern nur in der früheren Bewirtschaftung des Versuchsfeldes gelegen sein.

	Parzelle 14 (Lysimeter 2)		Parzelle 18 (Lysimeter 1)	
	Kultur	N - Gabe [kg/ha]	Kultur	N - Gabe [kg/ha]
<b>2000</b>	<b>Gerste</b>	<b>113</b>	<b>Mais</b>	<b>93</b>
<b>2001</b>	<b>Kürbis</b>	<b>83</b>	<b>Mais</b>	<b>120</b>
<b>2002</b>	<b>Mais</b>	<b>102</b>	<b>Mais</b>	<b>102</b>
<b>2003</b>	<b>Mais</b>	<b>120</b>	<b>Mais</b>	<b>117</b>
<b>2004</b>	<b>Getreide</b>	<b>0</b>	<b>Lein</b>	<b>38</b>
<b>2005</b>	<b>Kürbis</b>	<b>0</b>	<b>Kürbis</b>	<b>56</b>

Wie obige Tabelle zeigt, wurden beide Versuchsfelder, in die die Lysimeter eingebaut sind, seit 2002 identisch bewirtschaftet, wobei auf der Parzelle 14 (Lysimeter 2) in den Jahren 2004 und

2005 keine Stickstoffdüngung gegeben wurde. In den Jahren 2000 und 2001 war allerdings auf Parzelle 14 Gerste und Kürbis angebaut, die mit ortsüblichen aber für den Standort zu hohen Stickstoffgaben versehen wurden. Die hohe Auswaschung von Nitrat im Winter 2005/2006 kann nur auf diese bereits 5 Jahre zurück liegende Bewirtschaftungsunterschiede zurückzuführen sein.

Univ. Doz. Dr. Johann Fank  
 JOANNEUM RESEARCH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Elisabethstraße 16/II  
 A-8010 Graz

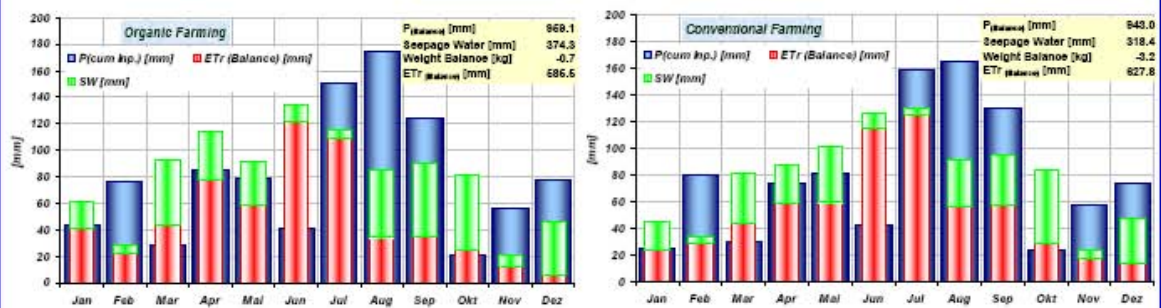
Tel.: +43 (0) 316 / 876 1393  
 Fax: +43 (0) 316 / 876 91393  
 eMail: johann.fank@joanneum.at  
 Internet: www.joanneum.at/WRM

**JOANNEUM RESEARCH**  
 Forschungsgesellschaft mbH  
 Institut für WasserRessourcenManagement  
 Hydrogeologie und Geophysik

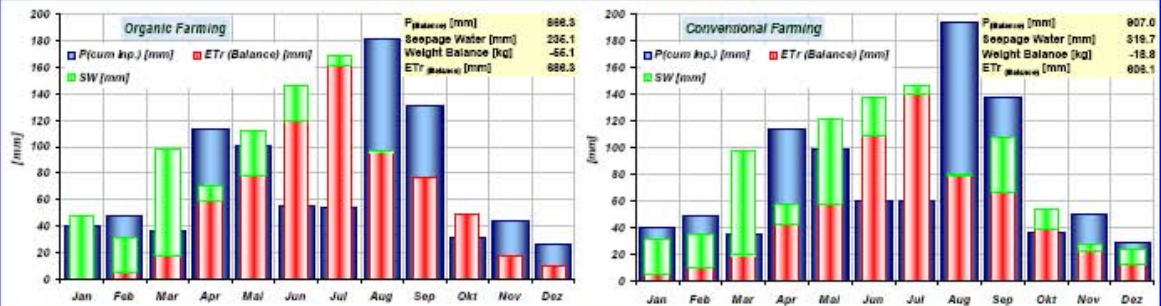


## Johann FANK : Gemessene Wasser- und Stoffbilanzen an den Lysimetern in Wagna

### Monats- und Jahreswasserbilanzgrößen des Jahres 2005 abgeleitet aus den Wiegedaten der Feldlysimeter am Versuchsfeld Wagna



### Monats- und Jahreswasserbilanzgrößen des Jahres 2006 abgeleitet aus den Wiegedaten der Feldlysimeter am Versuchsfeld Wagna



#### Nährstofffrachten ins Grundwasser

Stoffaustrag ab 01.10.2004

Parameter	Einheit	Lysimeter 1	Lysimeter 2
cum. SW Summe	mm	599	633
MW el. Leitfähigkeit	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	342	479
MW pH-Wert	-	7.28	7.38

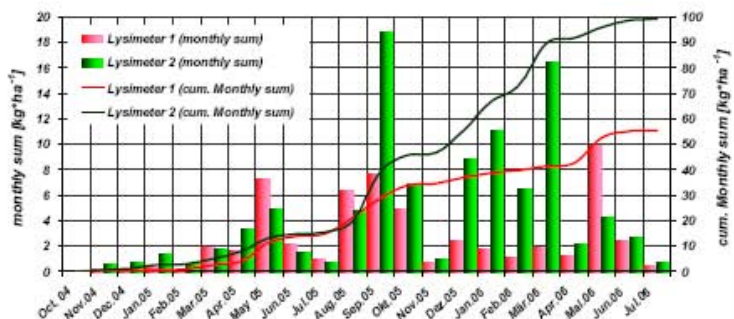
Parameter	Einheit	Lysimeter 1	Lysimeter 2
Natrium	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	43.18	35.45
Kalium	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	5.22	3.75
Magnesium	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	31.05	35.32
Calcium	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	380.82	509.82
Chlorid	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	68.78	48.38
Nitrat	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	247.07	440.87
Sulphat	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	245.44	288.14

Parameter	Einheit	Lysimeter 1	Lysimeter 2
Natrium	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	7.49	5.63
Kalium	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	0.93	0.59
Magnesium	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	5.07	5.47
Calcium	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	56.98	86.87
Chlorid	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	11.71	7.79
Nitrat	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	39.67	61.05
Sulphat	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	42.95	44.19

#### Stickstoffaustrag ins Grundwasser

Nitrogen Leaching



**Auffällig ist bei der Darstellung des Stickstoffaustrags ins Grundwasser der enorme Anstieg auf dem Lysimeter 2 (seit 2004 organisch biologisch bewirtschaftet), der nur durch die Bewirtschaftungsmaßnahmen in früheren Jahren erklärt werden kann**

# The Lysimeter Research Group

G. Eder<sup>1)</sup>, P. Cepuder<sup>2)</sup>, Ch. Lanthaler<sup>3)</sup>, J. Fank<sup>4)</sup>

- 1) HBLFA Raumberg-Gumpenstein  
Raumberg 38  
A-8952 Irdning
- 2) Universität für Bodenkultur  
Inst. f. Hydraulik u. landeskulturelle Wasserwirtschaft,  
Muthgasse 18  
A-1190 Wien
- 3) Karl Franzens Universität Graz  
Institut für Geographie und Raumforschung  
Hochgreitweg 4  
A-8046 Stattegg/Graz
- 4) JOANNEUM RESEARCH  
Institut für WasserRessourcenManagement  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz

## Zusammenfassung

Die Arbeitsgruppe Lysimeter (LRG) wurde 1992 als Plattform für einen interdisziplinären Informationsaustausch zwischen Wissenschaft und Praxis gegründet. Die Hauptaktivitäten liegen in der Organisation und Durchführung von Konferenzen, Workshops und Exkursionen.

## Summary

The Lysimeter Research Group (LRG) was founded in 1992 as a platform for interdisciplinary exchange of information between researchers and practitioners in the field of lysimetry on an international level. It is mainly working in disciplines like hydrology, hydrogeology, soil science, agriculture and forestry and initiates, coordinates and contributes details to these specific fields of research. The focus of the research activities is on different kinds of land-use and their effects on aquatic systems.

From 1992 to 2006 over 20 symposiums and workshops were held in Austria and Germany. In the beginning, the conferences of the LRG were mainly focused on agriculture and its inputs for and effects on the agro-ecosystem as well as on adjacent eco-systems. This topic is still of vital importance as two thirds of all lysimeter vessels in Europe are installed under arable land to monitor quality and quantity of the seepage water. Determining parameters of the water balance and leaching amounts of various substances can help to find out effects of changes in agricultural cultivation management systems.

In the late 1990s, the LRG also started projects on other environmental problems as many lysimeters are built in at contaminated sites. The main goals of lysimeter research in environmental protection or ecology are the source-term determination, the seepage water prediction or the investigation of the effectiveness of surface-sealing systems (of former surface mining or contaminated sites) and to find ways how to remediate these brownfield sites.

Different lysimeter types and measuring methods have always been an important part of the LRG's work. Advantages and limitations of various lysimeter types have been discussed and innovative

technologies of constructing monolithic vessels or containers, which can be cultivated mechanically, were published.

In the future, activities of the LRG will tend to reach more researchers in Europe and all over the world to achieve the primary aims of the group.



**Arbeitsgruppe  
Lysimeter  
Research Group**

ZVR-Zahl: 806128239

<http://www.lysimeter.at>

Eder, G., Cepuder, P.,

Fank, J., Lanthaler, Ch.

### Who We Are & What We Do

**Who we are:** The Lysimeter Research Group (LRG) was founded in **1992** as a **platform for interdisciplinary exchange** of information between researchers and practitioners in the field of **lysimetry on an international level**.

To gain more information about the quality and quantity of seepage or percolating water, so-called lysimeters are used in various research disciplines like **hydrology, hydrogeology, soil science, agriculture and forestry**. Lysimeters are devices that isolate a volume of soil or earth between the soil surface and a depth given and include a **percolating water sampling system** at its bottom (see the picture in the middle).

**What we do:** We initiate and coordinate

- **the lysimeter conference** in Raumberg-Gumpenstein (Styria, Austria) every two years,
- **workshops and seminars** in Austria and Germany in the years in between,
- **excursions** to lysimeter stations and water works around Europe (see pictures).



### History & Future of the Society

**History:** At the beginning, the conferences of the LRG were mainly focused on **agriculture and its inputs for and effects on the agro-ecosystem** as well as on adjacent ecosystems. In the late 1990s, the LRG also started projects on other **environmental problems** as many lysimeters are built in at contaminated sites.

Different **lysimeter types and measuring methods** have always been an important part of the LRG's work. **Advantages and limitations of various lysimeter types** have been discussed and **innovative technologies of constructing monolithic vessels or containers**, which can be cultivated mechanically, were published.



Seminar for groundwater protection in March 2006 at the Agricultural Research & Education Centre Raumberg-Gumpenstein (HBLFA)



Participants of the General Assembly in April 2005

### Members & Membership

In 2006, the LRG counts about **300 members** of 20 European and three non-European countries.

**Membership at the LRG is free!**

If you would like to become a member and get information of our activities, please visit our homepage <http://www.lysimeter.at>.



Lysimeter conference in April 2005 at the Agricultural Research & Education Centre Raumberg-Gumpenstein (HBLFA)



Lysimeter excursion to Styria and Slovenia in April 2006

### Future developments:

Our goals for the future are

- to attract **new members** from all over the world,
- to develop **new precise measuring methods**,
- to intensify **co-operation** with other research groups,
- to initiate **regional associations**,
- **homepage:** to post up stations which are **not yet integrated** in the European Lysimeter Platform and to include more links to stations and publications (also from non-European countries).

Eder, G., Agricultural Research & Education Centre Raumberg-Gumpenstein (HBLFA), A-8952 Irnding; [gerfried.eder@raumberg-gumpenstein.at](mailto:gerfried.eder@raumberg-gumpenstein.at)

Cepuder, P., University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Institute of Hydraulics and Rural Water Management, Muthgasse 18, A-1190 Vienna; [peder.cepuder@boku.ac.at](mailto:peder.cepuder@boku.ac.at)



Fank, J., Institute for Water Resources Management, Hydrogeology and Geophysics, JOANNEUM RESEARCH, Elisabethstraße 16/II, A-8010 Graz; [jo hann.fank@joanneum.at](mailto:jo hann.fank@joanneum.at)

Lanthaler, Ch., Karl-Franzens University Graz, Institute of Geography and Environmental Science, Hochgretweg 4, A-8046 Stattegg/Graz; [christine.lanthaler@aon.at](mailto:christine.lanthaler@aon.at)

Registered office: Agricultural Research & Education Centre Raumberg-Gumpenstein (HBLFA), Irnding (Styria, Austria)



# The Web Site of the Lysimeter Research Group

Ch. Lanthaler

Karl-Franzens-University Graz  
Institute of Geography and Environmental Science  
Hochgreitweg 4  
A-8046 Stattegg/Graz

Die Homepage der Arbeitsgruppe Lysimeter/Lysimeter Research Group (<http://www.lysimeter.at>) wurde im Jahr 2005 neu gestaltet und wird seitdem in Deutsch und Englisch geführt, um allen Interessierten Zugang zu den Inhalten zu ermöglichen. Die Internetseite bietet neben der Vorstellung der Arbeitsgruppe und ihren Zielen und Projekten aktuelle Informationen zu verschiedenen Veranstaltungen (Tagungen, Workshops, Exkursionen) sowie zu zahlreichen Publikationen und Fotos dieser Veranstaltungen. Alle Mitglieder sind zu einer Mitgestaltung der Inhalte aufgerufen, wie zum Beispiel in der Rubrik NEWS & VERANSTALTUNGEN – SCHWARZES BRETT, wo Links zu relevanten Publikationen oder Veranstaltungen von Partnerorganisationen und -instituten bekannt gegeben werden können. Das SCHWARZE BRETT soll auch als Austausch für Fragen und Antworten oder für Job-Angebote genutzt werden. Im April 2007 wird die Online-Mitgliederverwaltung zur Verfügung stehen: mit Registrierung, Änderung der Profildaten oder mit der Möglichkeit E-Mails an andere Mitglieder zu senden.

The Web site of the Lysimeter Research Group (<http://www.lysimeter.at>) started in the year 2000 but was redesigned in 2005. As the information and publications of the Lysimeter Research Group should also be available for researchers all over the world, the Web site has been maintained both in English and German since June 2005. The original colours were reused for the entire homepage; the logo was made bilingual. By continuously updating the content, the Lysimeter Research Group keeps all users informed about the activities, projects and publications of the group.

The homepage shows information on:

- the association and meetings (general assemblies, meetings of the Executive Council),
- events like conferences, workshops, seminars, and excursions,
- publications (conference and workshop proceedings, excursion handouts, theses, presentations, etc.),
- photos of several events,
- links to partner institutions, universities, enterprises, associations, etc.

Members are asked to send information:

In NEWS & EVENTS, the sub-page NOTICE BOARD provides links to events at partner institutions as well as to Web pages showing jobs in soil hydrology, hydrogeology or research fields connected to lysimeters.

The NOTICE BOARD is also meant to make an exchange of questions and answers possible or to provide links to interesting lysimeter/hydrologic publications which all members are asked to send to the Web master—the NOTICE BOARD needs YOUR support!

Outlook:

In April 2007, the online registration for new members and administration for all members will be launched. It will be possible to change profile data and to send e-mails to other members of the Lysimeter Research Group, for example.



navigation: the main menu provides links to general information of the Lysimeter Research Group, its projects and members as well as to lysimeter definitions in **ABOUT US**; in **NEWS & EVENTS** details on conferences or workshops and excursions are available; choose **RESEARCH STATIONS IN EUROPE** to get to the descriptions of lysimeter facilities on the **European Lysimeter Platform** or **LINKS** to get to other institutions and associations

**EVENTS – lysimeter conferences and workshops:** every two years, the lysimeter conference is held in Styria; topics and details about abstract submission and registration are provided here; in the years in between, several workshops are held in various cities and are also listed on this page

**The NOTICE BOARD Needs YOUR Support**

In **NEWS & EVENTS**, the sub-page **NOTICE BOARD** provides links to events at partner institutions as well as to Web pages showing jobs in soil hydrology, hydrogeology or research fields connected to lysimeters.

The **NOTICE BOARD** is also meant to make an **exchange of questions and answers** possible or to provide links to interesting lysimeter/hydrologic publications which **all members are asked to send** to the Web master.

**Outlook**

In April 2007, the **online registration** for new members and **administration** for all members will start. It will be possible to change profile data and to send e-mails to other members of the Lysimeter Research Group, for example.

**Contents**

The **homepage** of the **Lysimeter Research Group** shows information on

- the **association and meetings** (general assemblies, meetings of the Executive Council),
- events like **conferences, workshops, seminars, excursions, publications** (conference and workshop proceedings, excursion handouts, theses, presentations, etc.),
- **photos** of several events,
- **links** to partner institutions, universities, enterprises, associations, etc.

**Redesign in 2005**

As the information and publications of the Lysimeter Research Group should also be available for researchers all over the world, the Web site was **redesigned** and has been maintained both in **English and German since June 2005**. The original colours were reused for the entire homepage; the logo was made **bilingual**.

By **continuously updating** the content, the Lysimeter Research Group keeps **all users informed** about the activities, projects and publications of the group.

**PUBLICATIONS:** pdf files of papers of the lysimeter conferences (in Gumpenstein, Austria) are available; you can also download workshop reports or excursion guides as well as theses connected to lysimeter/hydrologic topics



Publications	Proceedings of the lysimeter conferences
1993-2005	1993-2005
<ul style="list-style-type: none"> <li>April 5-6, 2005 "Lysimeters in the Network of Dynamics of Ecosystems" (ISBN 3-901800-79-2)</li> <li>April 29-30, 2003 "10th lysimeter conference" (ISBN 3-901800-66-0)</li> <li>April 24-25, 2001 "Regional balances under different land use" 9th Lysimeter conference (ISBN 3-901800-66-0)</li> <li>April 12-14, 1999 "Soil transport in the unsaturated zone and its regional role for agriculture and ground water protection" 8th Lysimeter conference (ISBN 3-901800-66-0)</li> <li>April 7-9, 1997 "Lysimeter and sustainable land use" 7th Lysimeter conference (ISBN 3-901800-66-0)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1993-1999</li> <li>1997-2005</li> </ul>

Christine Lanthaler  
Karl-Franzens-University Graz, Institute of Geography and Environmental Science  
Hochgrotweg 4, A-8046 Stattegg/Graz,  
[christine.lanthaler@unigo.at](mailto:christine.lanthaler@unigo.at)

Registered office of the Lysimeter Research Group: Agricultural Research & Education Centre Raumberg-Gumpenstein (HBLFA), Irding (Styria, Austria)





# The European Lysimeter Platform

Ch. Lanthaler

Karl-Franzens-University Graz  
Institute of Geography and Environmental Science  
Hochgreitweg 4  
A-8046 Stattegg/Graz

Die „European Lysimeter Platform“ ist das Ergebnis und die Weiterführung einer Diplomarbeit aus dem Jahre 2004 und hält Informationen über europäische bodenhydrologische Stationen, insbesondere Lysimeteranlagen in übersichtlicher tabellarischer Form bereit. Fotos, Skizzen und zahlreiche Publikationen von Forschungsergebnissen unterstützen die Beschreibungen.

The “European Lysimeter Platform“ (EuLP) is a Web site integrated in the homepage of the Lysimeter Research Group and provides descriptions of lysimeter stations and soil hydrology measuring sites of Europe as well as research reports for downloading. The concept was described by LANTHALER 2004 and contains the following main points:

1. Purpose of the EuLP: To show clearly arranged descriptions about lysimeter and soil hydrological measuring sites and to provide access to their research results on a Web site for making an exchange of experience possible and information easily accessible.
2. Target group: Researchers interested in lysimeter studies, operators of lysimeter stations who want to get information about other sites or who want to get in contact with researchers in other countries, or research centres looking for cooperation.
3. Usability: Following usability guidelines, the Web site is clearly arranged in tables to view information of lysimeter operators and sites at a glance; users will easily and quickly find details of their desired site; maps with clickable symbols for lysimeter locations, photos and sketches of lysimeters and facilities increase the information content; research reports of lysimetric studies are provided for downloading (pdf files).
4. Structure and navigation: The main menu provides links to a list of all European research centres/lysimeter locations a list for downloading research reports, important lysimeter links to research centres, a link to the sitemap and the possibility to go back to the main site.
5. Layout: Colours → the same red, blue, and yellow as for the main page of the Lysimeter Research Group are used to guarantee a homogeneous appearance. Most text is kept in white (on blue background) as this increases readability, and the operator information is red on white. Font → sans-serif fonts in three sizes are used to guarantee high on-screen readability; bold is used in the title of a facility or for highlighting the operator names.
6. Contents and types of media: The information platform should provide contact addresses of lysimeter operators and general information about the lysimeter sites. If a lot of detail about lysimeter types used at one facility is available, two pages are offered: the first page shows the most important information on lysimeters/SWS installed—the purpose of the station/facility, details about the lysimeter types used, information about seepage water and nutrients measured, soil fractions/types/thickness, vegetation and probes installed and—if provided—details about further equipment/investigations and remarks. On the second page, details about the location can be seen: altitude, determination of meteorological parameters, details on cultivation, etc. The Web site is updated whenever new details of an existing station are available or when a new lysimeter station has been built and the information has been sent to the Web master. Future goals for the platform are, for example, to include new stations, especially in countries which are not online yet, to include more up-to-date publications and to provide links to non-European stations.

# References

LANTHALER, CH. (2004): Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe—Purpose, Equipment, Research Results, Future Developments. – Diploma thesis at the Karl-Franzens-University of Graz, 145 p.; download: <http://www.lysimeter.at> --> “Publications“



## The European Lysimeter Platform



ZVR-Zahl: 806128239

<http://www.lysimeter.at> → *Research stations in Europe*

Christine Lanthaler



**clickable maps and symbols to show where stations are located and which lysimeter type is operated there**

**navigation: the main menu provides links to a list of all European research centres/ lysimeter locations (arranged by countries), a list for downloading research reports, important lysimeter links to research centres, a link to the sitemap (structure of the Web site) and the possibility to go back to the main site**

**contact information to enable an exchange of experience**

### Concept

**Goal and purpose:** The **European Lysimeter Platform** is the result of a diploma thesis in 2004 and shows **clearly arranged descriptions** about lysimeter and soil hydrological measuring sites. It also provides access to their **research results** for making an **exchange of experience** possible and **information easily accessible** (see Lanthaler 2004).

**Target group:** Researchers interested in lysimeter studies, operators of lysimeter stations who want to get information about other sites or who want to get in contact with researchers in other countries, or research centres looking for **cooperation**.

**Usability:** The Web site is clearly arranged in **tables** to view information of lysimeter operators and sites **at a glance**; users will **easily and quickly** find details of their desired site; **maps with clickable symbols for lysimeter locations, photos and sketches** of lysimeters and facilities increase the information content; **research reports** of lysimetric studies are provided for **downloading** (pdf files).

**Layout:** **Colours** → the same red, blue, and yellow as for the main page of the Lysimeter Research Group are used to guarantee a **homogeneous appearance**. Most text is kept in white (on blue background) as this increases readability, and the operator information is red on white.

**Font** → **sans-serif fonts** (formatting option *Verdana/Arial/Helvetica*) in three sizes (10, 11 and 12 pt) are used to guarantee **high on-screen readability**; **bold** is used in the title of a facility or for highlighting the operator names.

**photos and sketches of facilities and different lysimeter types**

**description of a station: purpose of the facility, details about the lysimeter types used (size, number, building material, etc.), information about seepage water and nutrients measured, soil fractions/types/thickness, vegetation and probes installed and details about further equipment/investigations and remarks; details about the location and determination of meteorological parameters, cultivation, etc.**

**research reports (pdf files) for downloading**

### Further information

The Web site is **updated** whenever new details of an existing station are available or when a new lysimeter station has been built and the information has been sent to the Web master.

**Future goals** for the platform are, for example,

- to include **new stations**, especially in countries which are not online yet,
- to include more up-to-date **publications** and to provide **links** to non-European stations.

References: Lanthaler, Ch. (2004): Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe – Purpose, Equipment, Research Results, Future Developments. – Diploma thesis at the Karl-Franzens-University of Graz, 145 p.; download: <http://www.lysimeter.at> --> “Publications“

# Überblick der Lysimeterstationen in Europa mit besonderer Berücksichtigung der Messstandorte für Deponien und Bergbaufolgelandschaften in Deutschland

Ch. Lanthaler<sup>1)</sup>/J. Fank<sup>2)</sup>

1) Karl-Franzens-Universität Graz  
Institut für Geographie und Raumforschung  
Hochgreitweg 4  
A-8046 Stattegg/Graz – Austria

2) JOANNEUM RESEARCH  
Institut für WasserRessourcenManagement –  
Hydrogeologie und Geophysik  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria

This poster shows an overview on lysimeter stations installed at dumps/landfills, polluted or post-mining areas in Germany, for example in Aurach, Grünwalde/Finsterwalde, Karlsruhe, Waldfeucht oder Wielenbach. Lysimeters at contaminated sites are used for seepage water prediction, source-term determination as well as for investigations on surface-sealing systems.

Im Rahmen einer Diplomarbeit (LANTHALER 2004) wurden die europäischen Lysimeter- und bodenhydrologischen Messstationen hinsichtlich ihrer Zielsetzung, den Ausstattungsmerkmalen (z. B. Lysimetertypen, installierte Sonden), ihren Forschungsergebnissen und zukünftigen Entwicklungen erfasst. Um diese Informationen einzuholen, wurden an die Betreiber von Lysimeterstationen eigens entwickelte Fragebögen ausgesandt.

Im europäischen Sprachgebrauch (siehe dazu Definitionen auf <http://www.lysimeter.at>) sind Lysimeter Container mit definiertem Bodenvolumen und Tiefe, die entweder ungestört oder gestört befüllt oberflächengleich in den Boden eingebaut sind und dienen der Sammlung von Sickerwasser, das durch verschiedene Verfahren an der Gefäßunterseite gewonnen wird. Im Weiteren können Wasserhaushaltsparameter oder gelöste Stoffe bestimmt werden. Der Auswertung der Umfrage und der Aktualisierung der Statistik mit Stand April 2006 zufolge betreiben in 20 europäischen Ländern ca. 122 Institutionen etwa 2962 Lysimeter/Sickerwassersammler (SWS), davon sind 2452 Lysimetergefäße, die zu ca. 86 % nicht wägbare und zu etwa 30 % monolithisch befüllt sind.

Diese Messgeräte werden zu fast zwei Drittel für ackerbauliche Fragestellungen eingesetzt, doch gerade in der Bundesrepublik Deutschland wurden Lysimeter von verschiedenen Institutionen für den Umweltschutz an Deponie-Standorten oder in Bergbaufolgelandschaften eingebaut, wie beispielsweise in Aurach, Grünwalde/Finsterwalde, Karlsruhe, Waldfeucht oder Wielenbach.

Die Forschungsziele in diesem Einsatzgebiet der Lysimeter reichen von der Erstellung von Sickerwasserprognosen für kontaminierte Gebiete über Quelltermbestimmungen bis hin zu Untersuchungen von verschiedenen Oberflächenabdichtungssystemen für Halden.

Für zukünftige Forschungen der Lysimetrie liegen die Herausforderungen vor allem in der Übertragung von gemessenen punktbefugenen Daten mittels numerischer Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodelle, in der Verbesserung der präzisen Messtechnik, aber auch in der Untersuchung der Grundwasserneubildung und Stoffbilanzerstellung für Bergbaufolgelandschaften und im langfristigen Monitoring von der Verlagerung von Schadstoffen im Boden.

# Literatur

LANTHALER, CH. (2004): Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe—Purpose, Equipment, Research Results, Future Developments. – Diploma thesis at the Karl-Franzens-University of Graz, 145 p.; download: <http://www.lysimeter.at> --> “Publications“

## Überblick der Lysimeterstationen in Europa mit besonderer Berücksichtigung der Messstandorte für Deponien und Bergbaufolgelandschaften in Deutschland

Christine Lanthaler & Johann Fank

### Einleitung: Ziel und Definitionen

Im Rahmen einer Diplomarbeit im Jahr 2004 wurden die in Europa verwendeten Lysimeterarten und ihr Einsatz in Forschungsstationen nach Zielsetzung, Ausstattungsmerkmalen, Forschungsergebnissen und Zukunftsentwicklungen erarbeitet. Die daraus entstandenen Stationsbeschreibungen (Tabellen) sind mit zahlreichen Fotos und Skizzen auf einer Internetplattform (siehe unten) in englischer Sprache dargestellt.

**Was sind Lysimeter? Wo werden sie eingesetzt?**

Lysimeter sind Gefäße  
- mit definiertem Bodenvolumen und Tiefe,  
- sind entweder ungestört (monolithisch) oder gestört befüllt,  
- sind oberflächengleich in den Boden eingebaut,  
- können wägbar oder nicht-wägbare sein und  
- dienen der Sammlung von Sickerwasser, das durch verschiedene Verfahren an der Gefäßunterseite gewonnen wird (siehe Abbildung 1).

**Abbildung 2:** Schichtenabfolge und -mächtigkeit im Großlysimeter (400 m³) am Testfeld 1 in Karlsruhe-West (aus Breh, Gurgea und Hötzel 2002, Seite 4)

**Abbildung 1:** Schwerekräftlysimeter des LUA Essen in Waldflucht zur Untersuchung des Stoffaustuges aus mineralischen Abfällen (aus Susset, Leuchs und Detschen, K. A., Seite 4)

Im Unterschied dazu ragen Sickerwassersammler (SWS) mit ihrer seitlichen Berandung nicht an die Erdoberfläche und sind meist kleiner. Als eigener Typ werden auch Großlysimeter oder Testfelder mit Größen von 30 m² - 670 m² geführt (siehe Abbildung 2).

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Größe und Bepflanzung werden Lysimeter für viele Fragestellungen der Hydrologie, Land- und Forstwirtschaft oder Ökologie eingesetzt. Die ermittelten Daten lassen sehr gute Schlüsse auf den Stoff- und Wassertransport in der ungesättigten Zone zu.

### Lysimeterstationen in Europa

**Wie viele Lysimeter gibt es? In welchen Ländern?**

Um Informationen über Lysimeterstationen auszuholen, wurden an die Betreiber eigens entwickelte Fragebögen ausgedruckt. Der Auswertung der Umfrage von 2004 und der Weiterführung der Statistik 2006 zufolge betreiben in 20 Ländern ca. 122 Institutionen etwa 2962 Lysimeter und SWS, davon sind 2452 Lysimeter. Sie sind zu ca. 86 % nicht wägbare und zu etwa 30 % monolithisch befüllt und werden zu fast zwei Drittel für ackerbauliche Fragestellungen eingesetzt (siehe Abbildungen 3 und 4; Stand April 2006).

**Abbildung 3:** Aufteilung der Lysimeter nach wägbaren und nicht-wägbaren Gefäßen kombiniert mit der Art der Bodengewinnung (europaweit)

**Abbildung 4:** Lysimeter und deren Einsatzgebiet nach Bewuchstyp (europaweit, beide Abbildungen nach eigener Erhebung 2004 und Weiterführung April 2006)

**Lysimeter an Deponien und Bergbaufolgelandschaften?**

In der Altlastenerkundung finden Lysimeter, sowohl Container als auch Großlysimeter oder Testfelder, für die Quellstärkebestimmung mineralischer Materialien oder in der Sickerwasserprognose (Transportprognose) Verwendung.

Die Abbildungen 5 bis 7 zeigen die Internetplattform für europäische Lysimeterstationen; in Abbildung 6 sind einige Stationen Deutschlands an Deponien und Bergbaufolgelandschaften hervorgehoben; in Abbildung 7 ist die Station 'Im Dienstfeld/Aurach' stellvertretend für eine Stationsseite mit detaillierten Beschreibungen über Anwendungsgebiete, Forschungsziele, verwendete Technik und Methoden abgebildet.

AG Lysimeter - European Lysimeter Platform

http://www.lysimeter.at - Forschungsstationen in Europa

**Abbildung 5 und 6:** Europakarte mit Ländern, die Lysimeterstationen betreiben; Deutschlands Lysimeterstationen - markierte Nummern und Namen bedeuten Messstandorte an Deponien und Bergbaufolgelandschaften

**Abbildung 7:** Beschreibung der Station "Im Dienstfeld/Aurach" (alle drei Abbildungen: eigener Entwurf 2004/2005)

### Ergebnisse von Lysimeterstudien (Altlasten)/Beispiel

Überprüfung der Dichtigkeit einer mineralischen Deckungsschicht anhand von Lysimetern: Für die Beurteilung der Langzeitwirkung der mineralischen Abdeckungen ist die Berechnung des jährlichen Wirkungsgrades und der äquivalenten Durchlässigkeit sehr wichtig. Abbildung 8 zeigt die zeitliche Entwicklung der Dichtigkeit für 6 Jahre (Wirkungsgrad gesamt: 0.994; siehe Breh, Gurgea und Hötzel 2002).

**Abbildung 8:** Zeitliche Entwicklung der Dichtigkeit der mineralischen Dichtungsschicht für 1994 bis 2000 (aus Breh, Gurgea und Hötzel 2002, Seite 12)

### Zusammenfassung und Ausblick

Lysimeter an Deponien und Bergbaufolgelandschaften werden herangezogen, um Oberflächenabdeckungs- und Abdichtungssysteme sowie Kapillarsperren zu bewerten oder Möglichkeiten der Rekultivierung von Tagebauflächen aufzuzeigen. Anhand der gemessenen punktbewogenen Lysimeterdaten können numerische Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodelle kalibriert und die Ergebnisse somit auf größere Flächen übertragen oder für Simulationen in die Zukunft verwendet werden. Ein deterministisches Modell ist zum Beispiel HELIP, das in Ronneburg, Karlsruhe-West und Im Dienstfeld/Aurach für die Wasserhaushaltsmodellierung eingesetzt wird.

In der Modellierung, aber auch in der Verbesserung der präzisen hochauflösenden Messtechnik liegen die Herausforderungen für zukünftige Forschungen der Lysimetrie.

**Literatur:**  
- Anonymus, 2002: Langzeitverhalten von Dränmatten und Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen. - Ergebnisse eines Testfeldes auf der Deponie "Im Dienstfeld", Landratsamt Ansbach, 2002, SKZ.pdf, 16 Seiten  
- Breh, W., V. Gurgea und H. Hötzel, 2002: Langzeitbeobachtungen zum Verhalten einer verstärkten mineralischen Dichtungsschicht in einer komplexierten Oberflächenabdichtung. - DGGT 2002-3.pdf, 14 Seiten  
- Hoepfner, U. und A. Neudert, 2005: Untersuchungen zur langfristigen Entwicklung des Wasserhaushaltes von Oberflächenabdeckungen. - 11. Gumpenstein Lysimetertagung, 5. und 6. April 2005, Seiten 45 - 46  
- Lanthaler, Ch., 2004: Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe - Purpose, Equipment, Research Results and Future Developments. - Unveröff. Diplomarbeit am Institut für Geographie und Raumforschung an der Karl-Franzens-Universität Graz, 145 Seiten; Download unter <http://www.lysimeter.at> -> Publications  
- Susset, B., W. Leuchs und T. Detschen, K. A., Stoffaustag aus mineralischen Abfällen: Untersuchung der zeitlichen Quellstärkeentwicklung in Großlysimetern. - Essen, GWA37/LAN/RWS/Susset.pdf, 17 Seiten

Mag. Christine Lanthaler, Doktorandin am Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz (Österreich)

Univ.-Doz. Dr. Johann Fank, Institut für Wasser- und Ressourcenmanagement, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft m.b.H. Graz (Österreich)

# Overview on Lysimeter and Soil Hydrology Measuring Sites in Austria

Ch. Lanthaler

Karl-Franzens-University Graz  
Institute of Geography and Environmental Science  
Hochgreitweg 4  
A-8046 Stattegg/Graz

In Österreich gibt es an 29 Orten etwa 134 Messgeräte – davon sind 96 Lysimeter und 38 Sickerwassersammler (genaue Definitionen siehe <http://www.lysimeter.at> oder Lanthaler 2004). An 8 der 29 Messplätze sind bodenhydrologische Messprofile mit Sensoren zur Bestimmung des Bodenwassergehaltes, der Saugspannung oder auch Saugkerzen eingebaut.

European lysimeter stations and soil hydrology measuring sites were compiled and described in a diploma thesis in 2004 (Lanthaler 2004 and Lanthaler and Fank 2005). This poster aims at showing lysimeter definitions and a statistical overview of lysimeters and similar devices in Europe and at providing information on Austrian soil hydrological facilities like their investigation goals, new lysimeter stations, practical application of lysimeter data, and future developments.

In Austria, we have 29 sites with lysimeters or seepage water samplers (SWS) including soil hydrology measuring sites (SHMS), 8 of which are SHMS only. At these sites, 134 vessels are working, 96 of which are lysimeters and 38 are SWS (see updated information on <http://www.lysimeter.at>, the European Lysimeter Platform).

Lysimeters and SWS are mainly used for agricultural and hydrological research. In Styria and Upper Austria, some agricultural environmental and water advisory services use lysimeter data for supporting farmers about the application of fertiliser amounts and fertilisation dates. Comparisons of different cropping management systems are carried out using various modelling tools (see Lanthaler 2006). Models like the Austrian SIMWASER and STOTRASIM, the American EPIC and CropSyst or the Swedish CoupModel are calibrated and validated according to lysimeter data gained in Wagga. Nutrient leaching losses of fertilised and non-fertilised grassland in an alpine area are investigated in Gumpenstein as well as at the Stoderzinken station. Lysimeters are also used for environmental research; see for example the Seibersdorf facility, where a lysimeter with 4 compartments and 3 variants of residential waste is applied for studies on contaminated sites or polluted areas. General developments of future research can be summarised according to Lanthaler 2004 and 2006 as well as Lanthaler and Fank 2005:

- determining seepage water quality and quantity for modelling (to calibrate and verify water movement and solute transport models) is of vital importance,
- to install lysimeters directly in an agricultural field and to compare lysimeter data to data of undisturbed soil outside the vessels to assure the measuring accuracy of lysimeters; weighable lysimeters make a direct measurement of water balance parameters possible,
- to compare results of different cultivation systems for determining groundwater protective cropping systems and to provide a basis for agricultural environmental advisory services.

## References

- European Lysimeter Platform (2007): integrated in the homepage of the Lysimeter Research Group <http://www.lysimeter.at>
- LANTHALER, CH. (2006): Lysimeteranlagen in Europa – Ausführung, Aufgaben, Ergebnisse und Ziele. – In: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Wissenschaftliche Tagung 2006, Sektion Lysimeter, Schriftenreihe Heft 10, Jena, pp. 50-59
- LANTHALER, CH. and J. FANK (2005): Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe – Results of a 2004 Survey. – In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-

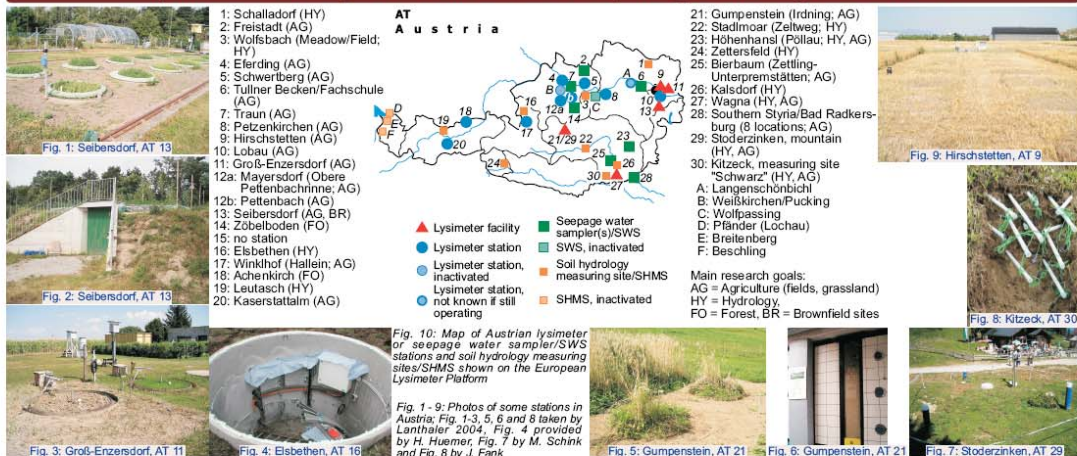
Gumpenstein, Irdning (Hrsg.), Bericht über die 11. Lysimetertagung „Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen“, pp. 19 – 24

LANTHALER, CH. (2004): Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe—Purpose, Equipment, Research Results, Future Developments. – Diploma thesis at the Karl-Franzens-University of Graz, 145 p.; download: <http://www.lysimeter.at> --> “Publications“

# Overview on Lysimeter and Soil Hydrology Measuring Sites in Austria

Christine Lanthaler

## Map and Pictures of Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Austria



### Lysimeter Definition & Lysimeters in Europe

European lysimeter stations and soil hydrology measuring sites were compiled and described in a diploma thesis in 2004 (Lanthaler 2004 and Lanthaler and Fank 2005). This poster aims at showing lysimeter definitions and a statistical overview of lysimeters and similar devices in Europe and at providing information on Austrian soil hydrological facilities like their investigation goals, new lysimeter stations, practical application of lysimeter data, and future developments.

#### What are lysimeters?

The term lysimeter is a combination of the Greek words “*lysis*” = solution and “*metron*” = measure (Muller 1996), and the original aim was to measure soil leaching (Kutilek and Nielsen 1994). Muller, 1996, p. 13, provides the following definition (translated from French): “a lysimeter is a device that isolates a volume of soil or earth between the soil surface and a depth given and includes a percolating water sampling system at its bottom”. According to various sources listed in Lanthaler 2004, p. 37, the explanation and the use of lysimeters are extended:

- soil is hydrologically isolated from the surrounding soil,
- lysimeters are containers filled artificially or with undisturbed bare soil or soil covered with vegetation, percolating water is collected either gravimetrically (see Fig. 11) or through suction cups or a suction plate, lysimeters are either weighable or non-weighable.
- In contrast, seepage water samplers (SWS) are smaller and do not reach the surface.

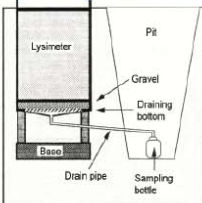


Fig. 11: Gravitation lysimeter (according to Muller 1996, p. 14, modified)

#### How many lysimeters do we have in Europe?

According to the survey in 2004 and updates from 2005 and 2006, ca. 122 European institutions are operating 2962 lysimeters and SWS. Active stations can now be found at 151 locations; these stations carry a certain map number (e.g. AT 9, see map above) but several measuring sites were summarised and therefore it is assumed that lysimeters and similar equipment are installed at about 233 different sites. Soil hydrology measuring sites (SHMS) are equipped with several probes measuring soil water content or matric potential; when only suction cups are installed, a station is classified as an SHMS.

### Application of Lysimeter Data for Agriculture

As discussed in Lanthaler 2006, comparisons of different cropping management systems are carried out using various modelling tools. Models like the Austrian SIMWASER and STOTRASIM, the American EPIC and CropSyst or the Swedish CoupModel are calibrated and validated according to lysimeter data gained in Wagna (AT 21). Also, Groß-Enzersdorf (AT 11) applies EPIC and compares different lysimeter types.

In Styria and Upper Austria, some agricultural environmental and water advisory services use either measured data or modelling results for supporting farmers about the application of fertiliser amounts and fertilisation dates. Several SWS are therefore installed in the “Unteres Murtal”, Styria (AT 28). The Bierbaum/Zettling station (AT 25) is equipped with SWS measuring nitrate leaching losses under intensively used vegetable farming fields south of Graz.

Nutrient leaching losses of fertilised and non-fertilised grassland in an alpine area are investigated in Gumpenstein (AT 21) as well as at the Stoderzinken station (AT 29). In Tyrol (Kaserstättalm, AT 20), weighable backfilled lysimeters are implemented to analyse changes of evapotranspiration in mountain grassland areas with different types of land use or areas which have been abandoned.

Soil hydrology measuring profiles are installed and maintained by the Hydrographic Central Office and by the Hydrographic Services in some provinces of Austria.

### Lysimeters in Austria: Figures, Types and Goals

#### How many lysimeters do we have in Austria?

29 sites with lysimeters or seepage water samplers (SWS) including soil hydrology measuring sites (SHMS), 8 of which are SHMS only (see Fig. 10 for an overview); 134 vessels, 96 of which are lysimeters and 38 are SWS (see updated information on <http://www.lysimeter.at>, the European Lysimeter Platform, and in Lanthaler 2007).

#### New lysimeters or SHMS were installed ...

- in Wagna, Styria (AT 27), in 2004 and 2006: two weighable monolithic field lysimeters and one weighable monolithic lysimeter in grassland; also some SHMS,
- on the “Stoderzinken” mountain, Styria, in 2005: one weighable monolithic gravitation lysimeter and one non-weighable monolithic lysimeter as well as an SHMS,
- in the vineyards of Kitzcek, Styria, in 2004: SHMS (1 profile with FD probes next to the weather station, 2 profiles with gypsum blocks at grapevines).

#### What are lysimeters and seepage water samplers used for?

##### Agriculture & Hydrology

- to monitor seepage water quantity and quality as well as the amount of nutrient leaching losses for determining water and nutrient balances (for cropping systems, vegetables or grassland - also in mountainous regions),
- these lysimeter data are used for calibrating and validating various water and nutrient transport models,
- modelling results are an important basis for investigating groundwater protective and sustainable soil and cropping management systems.

##### Ecology & Environment Protection

In Seibersdorf (AT 13), 18 non-weighable and weighable monolithic gravitation lysimeters as well as a lysimeter with 4 compartments and 3 variants of residential waste (see Fig. 12) are used for investigating the fate of pesticides and for studies on contaminated sites or polluted areas.

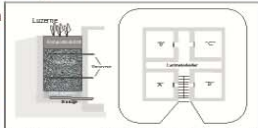


Fig. 12: Sketch of the waste lysimeter with 4 compartments in Seibersdorf (provided by B. Wimmer)

### Conclusion and Future Developments

General developments of future research can be summarised according to Lanthaler 2004 and 2006 as well as Lanthaler and Fank 2005:

- determining seepage water quality and quantity for modelling (to calibrate and verify water movement and solute transport models) is of vital importance,
- to install lysimeters directly in an agricultural field and to compare lysimeter data to data of undisturbed soil outside the vessels to assure the measuring accuracy of lysimeters; weighable lysimeters make a direct measurement of water balance parameters and nutrient leaching losses possible,
- to compare results of different cultivation systems for determining groundwater protective cropping management systems and to provide a basis for agricultural environmental advisory services.

#### References:

- European Lysimeter Platform (2007): Integrated in the homepage of the Lysimeter Research Group <http://www.lysimeter.at>  
 - Kutilek, M. and D. R. Nielsen, 1994: Soil Hydrology – GeoEcology textbook, Cerealia Verlag, Gießen/Deesfeld, 370 p.  
 - Muller, J.-C. (ed.), 1996: un point sur... l'état de la lysimetrie en France (1960-1990). Une technique, un outil pour l'étude de l'environnement – BIRA, Editions, Comitec, Paris, 330 p.  
 - Lanthaler, Ch. (2007): Lysimeter in Europa. Messinstrumente für Land- und Forstwirtschaft, Hydrologie sowie Ökologie; neue Stationen auf der „European Lysimeter Platform“. – In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning (Hrsg.), Bericht über die 12. Lysimetertagung (in press).  
 - Lanthaler, Ch. (2006): Lysimeteranlagen in Europa – Ausführung, Aufgaben, Ergebnisse und Ziele. – In: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaftliche Wissenschaftliche Tagung 2006, Station Lysimeter, Schriftenreihe Heft 19, Jena, pp. 69-99.  
 - Lanthaler, Ch. and J. Fank (2005): Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe – Results of a 2004 Survey. – In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning (Hrsg.), Bericht über die 11. Lysimetertagung „Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen“, pp. 19 – 24.  
 - Lanthaler, Ch. (2004): Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe—Purpose, Equipment, Research Results, Future Developments. – Diploma thesis at the Karl-Franzens-University of Graz, 145 p.; download: <http://www.lysimeter.at>



# Agricultural Groundwater Protection in Upper Austria – Oö. Wasserschutzberatung

M. Hoefflerer

Oö. Wasserschutzberatung  
Figulystrasse 34  
A-4020 Linz

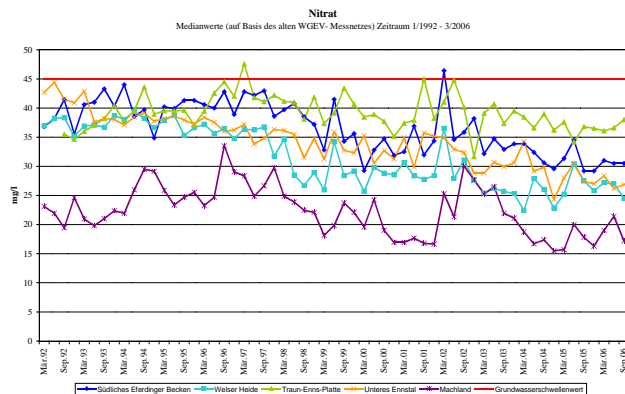
Basic consulting issues of the Oö. Wasserschutzberatung are agricultural measures for a clean ground water, sustainable use of soil and economical and ecological application of livestock manure.

**Fig. 1.** Structure of the Oö. Wasserschutzberatung  
**Fig. 2.** Field of activity



More than 1.700 farmers participate in 58 working groups "groundwater protection". Approximately 12.775 contacts between farmers and consultants take place annually. The Oö. Wasserschutzberatung offers more than 500 advanced trainings for farmers every year.

An increase of the participation rate of the regional project "Grundwasser 2000 NEU" from 42 (2001) to 55 percent (2005) is one important result of consulting. One further aim of consulting is to reduce bare fallow and to encourage cultivation of catch crops in quantity and varieties.



**Fig. 3.** Nitrate concentration in central Upper Austria

Nitrate immission into the groundwater in Upper Austria's central area is decreasing also due to consulting.

## **Kompetenznetzwerk Wasserressourcen und deren Bewirtschaftung –“Waterpool“**

G. Probst/S. Schafranek

Competence Network Water Resources  
Elisabethstraße 16/II  
A-8010 Graz – Austria  
<http://www.waterpool.org>

“Waterpool – Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH” was established in the framework of the Austrian Federal Government's technological offensive in December 2003. The competence network water brings together water using industry, water related technology ventures and water applied researches in Central Europe and Europe's South East Region.

Waterpool very rapidly grew to become central Europe's largest competence network. Currently, 86 commercial and research partners are part of the network. Know-how is provided by partners from the Austrian provinces of Styria, Carinthia, Tyrol, as well as further a field, from such countries as Slovenia, Italy and Croatia, all of whom enjoy the benefits of this close cooperation.

The Waterpool Competence Network concentrates on six key research areas (net nodes) with 45 sub-projects. These key areas are classified by themes in the net nodes. These key areas are what bring economy and research closer together. Each of the six net nodes yields modules is dedicated to address specific tasks. In accordance with Waterpool's networking philosophy, research is performed in decentralized work packages, whose active cells work to produce concrete results for the economic partners and built up their competences. Work packages are project-oriented, on-demand units that conduct their research and development tasks to address those demands.

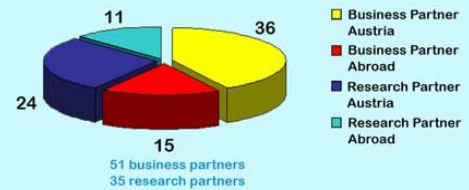
Waterpool's goal is to build up and extend our common know-how through a common research program and intensified cooperation and communication in order to increase the international competitiveness of each network partner on the one hand and on the other hand to accompany scientifically the development of the water market in Austria and the integrated partner countries in the South east region.



## >> The Competence Network Waterpool

"Waterpool – Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH" was established in the framework of the Austrian Federal Government's technological offensive in December 2003. The competence network water brings together water using industry, water related technology ventures and water applied researches in Central Europe and Europe's South East Region.

86 partners from economy and science



	1. Program year	2. Program year	3. Program year	4. Program year	total
BMW	€ 789.519,-	€ 890.384,-	€ 1.012.965,-	€ 1.012.965,-	€ 3.705.833,-
Styria	38,87%				
Styria	€ 221.074,-	€ 349.317,-	€ 283.641,-	€ 283.641,-	€ 1.037.673,-
Carinthia	10,80%				
Carinthia	€ 54.040,-	€ 60.944,-	€ 69.334,-	€ 69.334,-	€ 253.652,-
Tyrol	2,64%				
Tyrol	€ 54.040,-	€ 60.944,-	€ 69.334,-	€ 69.334,-	€ 253.652,-
Pordenone	2,64%				
Pordenone	€ 68.574,-	€ 77.334,-	€ 87.981,-	€ 87.981,-	€ 321.870,-
Slovenia	3,39%				
Slovenia	€ 9.416,-	€ 10.619,-	€ 12.081,-	€ 12.081,-	€ 44.197,-
Croatia	0,49%				
Croatia	€ 9.621,-	€ 10.850,-	€ 12.344,-	€ 12.344,-	€ 45.159,-
Economy	0,47%				
Economy	€ 840.694,-	€ 948.096,-	€ 1.078.623,-	€ 1.078.623,-	€ 3.946.036,-
41,07%					
Total	€ 2.046.978,-	€ 2.308.488,-	€ 2.626.303,-	€ 2.626.303,-	€ 9.608.072,-

Sourcing of the Network

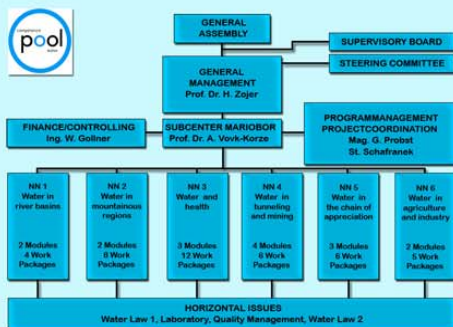
## >> What is Waterpool?

"Waterpool – Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH" very rapidly grew to become central Europe's largest competence network. Currently, 86 commercial and research partners are part of the network. Know-how is provided by partners from the Austrian provinces of Styria, Carinthia, Tyrol, as well as further a field, from such countries as Slovenia, Italy and Croatia, all of whom enjoy the benefits of this close cooperation. The Waterpool network is made up of six central netnodes with 45 sub-projects.

## >> Waterpool Network

The Waterpool Competence Network concentrates on six key research areas (netnodes). These key areas are classified by themes in the netnodes. The netnodes are what bring economy and research closer together.

Each of the six netnodes yields modules is dedicated to address specific tasks. In accordance with Waterpool's networking philosophy, research is performed in decentralised work packages, whose active cells work to produce concrete results. Work packages are project-oriented, on-demand units that conduct their research and development tasks to address those demands.



Organigram of Waterpool

## >> Waterpool's Goal

Waterpool's goal is to build up and extend our common know-how through a common research program and intensified cooperation and communication in order to increase the international competitiveness of each network partner on the one hand and on the other hand to accompany scientifically the development of the water market in Austria and the integrated partner countries.

G. Probst, St. Schafraneck, MMM-Conference, Graz, January 2007

# Zielsetzung, Struktur und Verteilungsnetz des Wasserverbandes Grenzland Südost

F. Glanz  
Wasserversorgung Grenzland Südost  
Bahnhofstraße 20b  
A-8350 FEHRING

## Summary

The water supply association "Grenzland Südost" (GSO) has been funded in 1979 to ensure water supply in southern and eastern Styria for the future. 74 communities and associations with about 100.000 inhabitants are supported via a pipe network of 270 km. To ensure water supply in dry periods GSO is partner in the water supply association "Transportleitung Oststeiermark" (TLO). A water pipeline will be built up from Graz to Hartberg with a length of 60.000 m and a transport capacity of about 200 l/s.

## Kurzfassung

Die Wasserversorgung Grenzland Südost wurde im Jahre 1979 mit dem Ziel gegründet, die zukünftige Trink- und Nutzwasserversorgung in der Süd- und Oststeiermark zu sichern. In ihrer Rechtsform stellt die Wasserversorgung Grenzland Südost einen Wasserverband nach dem Wasserrechtsgesetz, somit eine Körperschaft öffentlichen Rechtes dar. Das langfristige Unternehmensziel liegt in der Bewerkstelligung einer technisch und qualitativ einwandfreien sowie kostenmäßig günstigen Sicherstellung der Trink- und Nutzwasserversorgung der Mitglieder. Die Jahreswasserabgabe von rund 2.200.000 m<sup>3</sup> (70 Liter/s) wird zu 80% aus Grundwasser sowie zu 20% aus artesischen Tiefwässern gefördert. 90% des Gesamtbedarfs werden aus eigenen Vorkommen gewonnen, der Rest wird von anderen Wasserwerken zugekauft. Die durchschnittliche Anschlussdichte an die öffentliche Wasserversorgung beträgt ca. 60%, während in den ausgebauten Netzen der Mitglieder eine Anschlussdichte von bis zu 100% erreicht wird.

Das zur Versorgung der Mitglieder notwendige Transportleitungssystem erstreckt sich über ca. 270 km. 8 Brunnenstandorte (13 Gewinnungsstellen) mit einem Konsens von 110 l/s, 9 Hochbehälter mit einem Nutzinhalt von 10.400.000 Liter, 26 Pumpstationen, ca. 1.000 Schachtbauwerke und das Verwaltungsgebäude mit Lagerhalle und Werkstätte in Fehring einschließlich der Funkfernwirkanlage stellen die weitere Infrastruktur zur Versorgung der 74 Verbandsmitglieder (Gemeinden und Verbände) mit ca. 100.000 Einwohnern dar. Die Überwachung und Steuerung der Anlagen erfolgt mittels einer dem modernsten Stand der Technik entsprechenden Funkfernwirkanlage, wobei die Brunnen, Pumpwerke und Hochbehälter vom Unternehmenssitz in Fehring aus bedient bzw. gesteuert werden.

Die Erschließung eigener Vorkommen in ausreichender Menge und entsprechender Qualität stellt eine der größten Herausforderungen für die Zukunft dar. Nur so kann die Voraussetzung für eine optimale Versorgung der Mitglieder gesichert werden. Eine Steigerung des Versorgungsgrades in den Gemeinden soll damit einhergehen und schlussendlich zu einer Verbesserung des Lebensstandards sowie der Volksgesundheit beitragen. Das in den letzten Jahren installierte Verbundsystem (Wassernetzwerk Südoststeiermark) mit den benachbarten Versorgungsunternehmen sichert auch in Not- und Katastrophenfällen, bzw. auch bei extremen Trockenperioden eine weitestgehende Versorgung.

Die Wasserversorgung Grenzland Südost ist auch Mitinitiator und Gründungsmitglied des Wasserverbandes Transportleitung Oststeiermark, der in den nächsten Jahren im Rahmen des

Wasserversorgungsplanes Steiermark die Trinkwassertransportleitung von Graz über Gleisdorf nach Hartberg errichten wird. Mit dieser Maßnahme wird die langfristige Wasserversorgung der Region nachhaltig gesichert werden.



Bahnhofstraße 20b  
A 8350 Fehring  
Tel.: +43 (0)3155 5104  
Fax.: +43 (0) 3155 5104 44  
E-mail: [office@wasserversorgung.at](mailto:office@wasserversorgung.at)  
<http://www.wasserversorgung.at>



## Franz GLANZ: Zielsetzung, Struktur und Verteilungsnetz des Wasserverbandes Grenzland Südost

Die Wasserversorgung Grenzland Südost wurde im Jahre 1979 mit dem Ziel gegründet, die zukünftige Trink- und Nutzwasserversorgung in der Süd- und Oststeiermark zu sichern. In ihrer Rechtsform stellt die Wasserversorgung Grenzland Südost einen Wasserverband nach dem Wasserrechtsgesetz, somit eine Körperschaft öffentlichen Rechtes dar. Das langfristige Unternehmensziel liegt in der Bewerkstelligung einer technisch und qualitativ einwandfreien sowie kostenmäßig günstigen Sicherstellung der Trink- und Nutzwasserversorgung der Mitglieder.



Das zur Versorgung der Mitglieder notwendige Transportleitungssystem erstreckt sich über ca. 270 km. 8 Brunnenstandorte (13 Gewinnungsstellen) mit einem Konsens von 110 l/s, 9 Hochbehälter mit einem Nutzinhalt von 10.400.000 Liter, 26 Pumpstationen, ca. 1.000 Schachtbauwerke und das Verwaltungsgebäude mit Lagerhalle und Werkstätte in Fehring einschließlich der Funkfernwirkanlage stellen die weitere Infrastruktur zur Versorgung der 74 Verbandsmitglieder (Gemeinden und Verbände) mit ca. 100.000 Einwohnern dar.

Die Erschließung eigener Vorkommen in ausreichender Menge und entsprechender Qualität stellt eine der größten Herausforderungen für die Zukunft dar. Nur so kann die Voraussetzung für eine optimale Versorgung der Mitglieder gesichert werden.

In Hinkunft wird ein landesweites Verbundsystem zur Sicherung bzw. Verteilung der Ressourcen - vor allem in Notfällen - erforderlich sein.

## Langfristige Versorgungssicherheit ist das Ziel



### Wasserverband Transportleitung Oststeiermark 8350 Fehring

Leitungslänge: ca. 60.000 lfm  
Transportkapazität: 200 l/s  
Projektrichtkosten: ca. 15 Mio. €

„Die Wassertransportleitung von Graz nach Hartberg wird dazu beitragen, der Bevölkerung jederzeit bestes Trinkwasser sowie der Wirtschaft und dem Tourismus die notwendige Infrastruktur auch für künftige Entwicklungen zur Verfügung zu stellen. Weiters soll mit dieser Transportleitung eine Übernutzung der regionalen Wasserressourcen vermieden werden.“

Hofrat DI Johann Wiedner,  
Leiter der Abteilung 19 - Wasserwirtschaft