

Modellierung des Bodenwasserhaushalts als Prognose-Instrument zur praxisnahen Abschätzung der Umweltauswirkungen einer Grundwasserabsenkung

Hydrogeologie, Bodenwasserhaushalt, Modellierung, Grundwasserentnahme, Grundwasserabsenkung, SIWA on ArcVIEW, soil water budgets, modeling, unsaturated zone, soil moisture

Tobias Wirsing, Wolfgang Deinlein, Bernd Hofmann, Matthias Maier und Karl Roth

Die Ermittlung der Veränderungen im Bodenwasserhaushalt ist sowohl auf Grund der gesetzlichen Vorschriften in Vorbereitung des entsprechenden Genehmigungsverfahrens als auch innerhalb der Beweis-sicherung zur späteren Überprüfung zivilrechtlicher Ansprüche bei Grundwasserentnahmen notwendig. Die Stadtwerke Karlsruhe GmbH führte im Rahmen der Vorbereitung der wasserrechtlichen Genehmigung erstmals eine detaillierte integrative Modellierung des Bodenwasserhaushalts durch, die durch hoch aufgelöste Eingangsparameter und die Einbeziehung von Tageswerten der Klimatischen Wasserbilanz eine hohe Abbildungsgüte erreichte. Die Modellergebnisse zeigen hinsichtlich des Bodenwasserhaushalts pedogenetisch sehr vorteilhafte Rahmenbedingungen, die durch das hohe Wasserspeichervermögen der im Gebiet verbreiteten Auelehmddecken vorliegen. Auf (wechsel-)feuchten Standorten ist für eine Prognose zur Entwicklung der Zusammensetzung der Kraut- und Strauchschicht bislang besonders der Grundwasserflurabstand als Stressfaktor von Bedeutung. Bei der Beantwortung der Frage, ob die Wasserversorgung des Baumbestands auch bei Absenkung des Grundwasserstands in ausreichendem Maße gewährleistet ist, stellt die Modellierung des Bodenwasserhaushalts ein wertvolles Werkzeug dar.

Modelling of Soil Moisture as an Instrument for the Practical Assessment of the Environmental Impact Caused by Groundwater Drawdown

The assessment of changes in soil moisture is an integral part of the monitoring and evaluation methods for the legislative permission of the groundwater abstraction as well as for the assessment of damages assigned to the withdrawal of ground water in the future. The Stadtwerke Karlsruhe GmbH carried out soil moisture modelling of a high accuracy by incorporating high resolution input parameters as well as daily measurements of the climatic water balance. The model outcome illustrated the benefit of the high storage capacities which characterize the alluvial clay widespread in the study area. On (intermittantly) moist locations the depth to groundwater as ecological stress factor is of high relevance for the prognosis of herb and shrub development. This modelling approach is an effective instrument to investigate if the future water supply meets the needs of an existing tree population in case of a groundwater drawdown.

1. Einführung

Die Stadtwerke Karlsruhe GmbH plant zur Sicherung der Trinkwasserversorgung der Stadt Karlsruhe und der mitversorgten Umlandgemeinden in den Auwäldern des Rheins bei Karlsruhe den Bau eines neuen Wasserwerkes. Die Vorschriften zur wasserrechtlichen Genehmigung der Grundwasserentnahme sehen sowohl eine Prüfung der Umweltverträglichkeit (UVP, zuletzt geän-

dert d. Art. 2 d. Ges. v. 23. Okt. 2007; BGBl I S. 2470) als auch der FFH-Verträglichkeit (FFH-Richtlinie 92/43/EWG d. Rates v. 21. Mai 1992) vor. Daher hat die Stadtwerke Karlsruhe GmbH im Scoping-Termin der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) mit der zuständigen Fachbehörde die Modellierung des Bodenwasserhaushalts für drei zu untersuchende Grundwasserentnahmeraten im Absenkungsbereich vereinbart. Verbindliche Richt-

linien, welche hydrogeologischen und bodenkundlichen Anforderungen bei Wasserrechtsanträgen zur Grundwasserentnahme gestellt werden, gab es lange nur auf Landesebene (z. B. [1]), sind aber seit Erscheinen des DVGW Arbeitsblattes W 150 auf Bundesebene Standard im Beweissicherungsverfahren für Grundwasserentnahmen der Wasserversorgung [2].

Zur Beurteilung der Umweltauswirkungen auf die vom Grundwasserkörper abhängigen Schutzgüter Boden, Pflanzen und Tiere ist die Berechnung der zukünftig zu erwartenden Grundwasserabsenkung alleine nicht ausreichend, da die Wasserversorgung der Pflanzen gerade in hydrologischen Trockenzeiten von weitaus komplexeren Wirkzusammenhängen bestimmt wird. Hierzu zählen beispielsweise Kleinklima, Vegetation, pedologische Eigenschaften und die daraus resultierenden Bodenwasserverhältnisse der dem Grundwasserleiter überlagerten ungesättigten Zone. In diesem Bereich besteht erheblicher Bedarf zur Ermittlung der notwendigen Grundlagen, da gerade in besonders sensiblen Gebieten, wie z. B. FFH-Gebieten, die korrekte Abschätzung von Projektwirkungen entscheidend für die Bewertung der Verträglichkeit und damit für die Zulassung eines Vorhabens ist.

Durch die Verwendung eines Digitalen Geländemodells (DGM) mit einer Rasterweite von 1 m, nach morphogenetischen Gesichtspunkten regionalisierter Bodendaten (basierend auf einer räumlich hoch aufgelösten Bodenkartierung [3]), eines instationären, speziell für die Fragestellung validierten numerischen Grundwassermodells [4] und durch die Einbeziehung von Tageswerten der Klimatischen Wasserbilanz, lagen beste Voraussetzungen für eine detaillierte Modellierung des Bodenwasserhaushalts vor. **Bild 1** vermittelt einen Überblick über die Vorgehensweise bei der Abschätzung der Auswirkungen einer Grundwasserentnahme auf Bodenwasserhaushalt und Vegetation.

2. Grundlagen und methodischer Ansatz

2.1 Modellansatz zu SIWA on ArcVIEW®

Die Modellierungssoftware SIWA on ArcVIEW® (DHI-WASY GmbH, Berlin) ist ein Modell zur eindimensionalen Beschreibung der Abflussbildung, des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung. Es können 36 Kenngrößen des Bodenwasserhaushalts, wie z. B. Grundwasserneubildung, Bodenfeuchtedefizit oder aktuelle Verdunstung ausgegeben werden, wobei Interzeption, Oberflächenabfluss, Infiltration, vertikaler Feuchtestrom, Grundwasserneubildung und kapillarer Aufstieg berücksichtigt werden. Nicht berücksichtigt werden laterale Abflussprozesse [5].

Anders als in der Methode zur Bewertung von Grundwasserentnahmen des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG) [6] lassen sich Veränderungen im Bodenwasserhaushalt bei einer Absenkung des Grundwasserspiegels unter Berücksich-

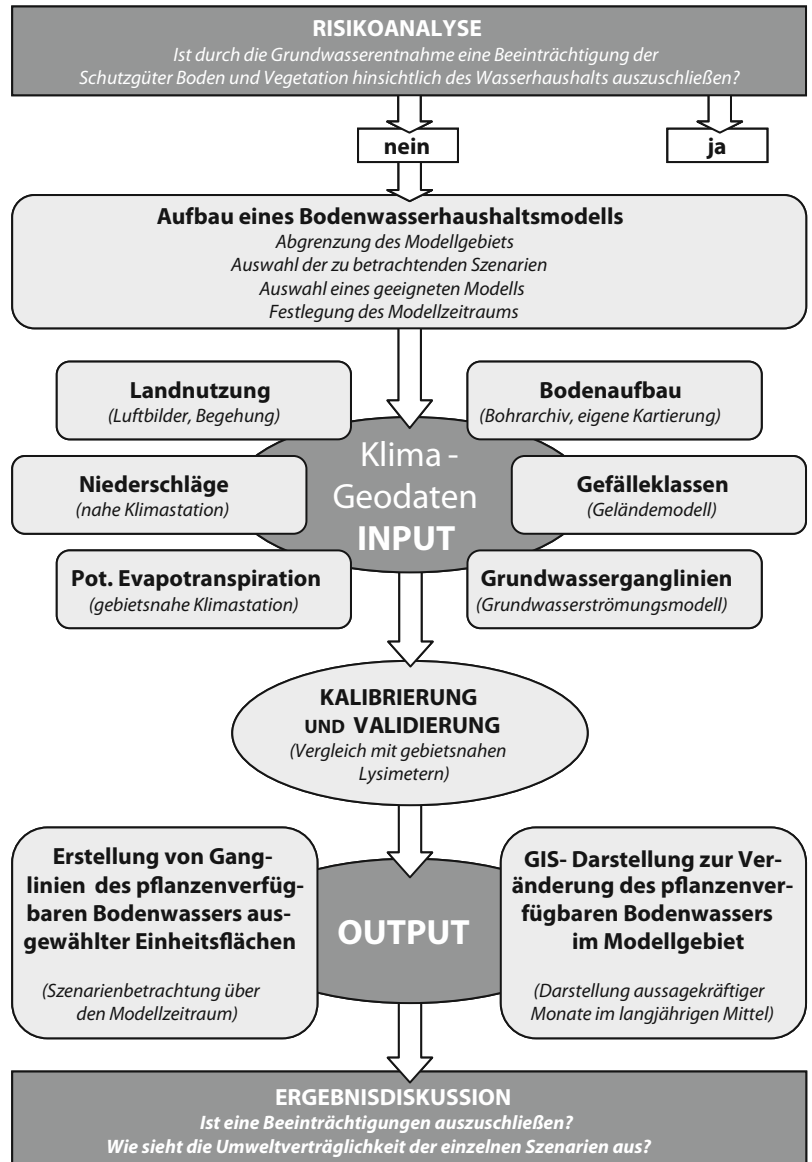


Bild 1. Ablaufschema der vorgestellten Modellierung.

tigung der Klimatischen Wasserbilanz (KWB) im tages- oder monatsbasierten Jahresverlauf beschreiben.

2.2 Modellzeitraum

In wechselfeuchten Biotopen sollten Modellierungen des Bodenwasserhaushalts mindestens einen Zeitraum von zehn Jahren umfassen [7], wobei nach Möglichkeit gleichermaßen Jahre mit sehr hohen sowie Jahre mit sehr niedrigen Grundwasserständen vorhanden sein sollen. **Bild 2** zeigt für eine zentral im Untersuchungsgebiet gelegene Grundwassermessstelle, dass der gewählte Modellzeitraum diese Vorgaben erfüllt.

2.3 Modellaufbau

Für eine Modellierung mit SIWA on ArcVIEW® werden neben klimatischen Eingangsdaten räumliche Informationen zur Landnutzung, zum Bodenaufbau, zum Geländegefälle und zum Grundwasserflurabstand benötigt.

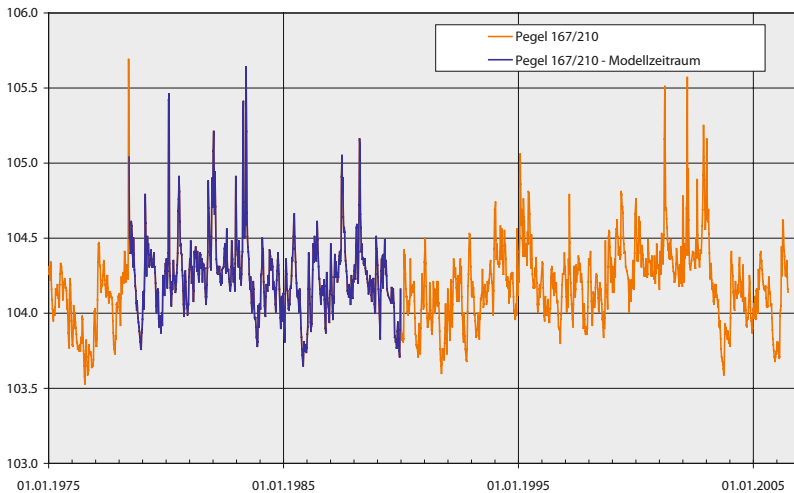


Bild 2. Grundwasserstandsganglinie im Untersuchungsgebiet und Darstellung des Modellzeitraums.

Durch Verschneidung dieser räumlichen Einzelinformationen entstehen quasihomogene Einheitsflächen (EFL), deren unterschiedliche Eigenschaften im Modell durch Attribute definiert werden. Zugehörige Attributtabelle enthalten die hydrologisch relevanten Kennwerte. Die generierten EFL werden ihrerseits mit 10 cm-Isolinien der Grundwasserabsenkung verschnitten, um die Varianz der Flurabstände innerhalb einer betrachteten Fläche auf maximal 10 cm zu beschränken.

Klimatische Modelleingangsdaten sind Zeitreihen von Tageswerten des Niederschlags und der potentiellen Evapotranspiration für Gras (Gras-Referenzverdunstung). Dabei ist die Einbeziehung von mehreren Klimastationen möglich. Bei der Wahl der Klimadaten ist auf die räumliche Nähe zum Untersuchungsgebiet und auf die vollständige Abdeckung des Modellzeitraums zu achten. In der durchgeführten Modellierung wurden Niederschlagsdaten der am Rand des Modellgebiets gelegenen Klimastation Rheinstetten-Forchheim des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Nach Aufgabe dieser Station 1985 wurden Niederschlagsdaten des räumlich nahe gelegenen Lysimeters Forchheim herangezogen. Da die Niederschlagsmengen am Lysimeter nur in Zwei- bis Dreitagesintervallen erfasst wurden, mussten diese an Hand der Niederschlagsverteilung an der DWD-Station Karlsruhe auf Einzeltage aufgeteilt werden. Beide Datensätze wurden plausibilisiert und korrigiert [8].

Die Landnutzung kann aus ALK-Daten, Luftbildern, topographischen Karten oder durch eine eigene Erhebung ermittelt werden. Sie hat starken Einfluss auf die Interzeption, die effektive Durchwurzelungstiefe und die Kc-Werte, die die spezifische Evapotranspiration des Bestands im Vergleich zur Gras-Referenzverdunstung beschreiben. Da die Bodeneinheiten im vorliegenden Beispiel sehr kleinräumig und standortdifferenziert erfasst wurden, wurde auch die Landnutzung auf Basis

dieser Flächen durch Auswertung von Luftbildern und eine eigene Begehung in 17 Klassen erhoben.

Der effektive Wurzelraum des Untersuchungsgebiets wurde nach dem Verfahren des LBEG [6] entsprechend des Profilaufbaus und der Landnutzung berechnet [3]. Durch die Berücksichtigung der lokalen Bodenverhältnisse ist diese Berechnung sehr standortdifferenziert. Da in SIWA on ArcVIEW® der effektive Wurzelraum jedoch nur an die Landnutzung gekoppelt vorgegeben werden kann, wurden für die einzelnen Landnutzungen Mittelwerte des nach dem LBEG-Verfahren ermittelten Wurzelraums vorgegeben. Auf diese Weise konnten die im Untersuchungsgebiet gewonnenen Daten in das Modell integriert werden.

In der Rheinaue liefert die Verwendung der amtlichen Bodenkarte 1:25 000 zum Bodenaufbau nur sehr ungenaue, da flachgründige und stark generalisierte Informationen. Für grundwassernahe Standorte ist zur genauen Beschreibung des Kapillaraufstiegs eine bessere Kenntnis des Aufbaus und der Verbreitung der Bodentypen von Bedeutung. Unter Einbeziehung zahlreicher im Gebiet vorhandener Bohrprofile und etwa 100 ergänzenden Cobrasondierungen bis in vier Meter Tiefe konnte unter Berücksichtigung von Morphologie und Genese, die pedogenetische Beschaffenheit des Gebiets sehr genau beschrieben werden [3].

Liegt ein Untersuchungsgebiet mit geeigneten Flächen vor, so können laterale Abflussprozesse bei Starkniederschlagsereignissen über die Verwendung von Gefälleklassen des Geländes gesteuert werden. Letztere lassen sich mit einem Geoinformationssystem (GIS) aus einem DGM erzeugen. Da SIWA on ArcVIEW® auf einem eindimensionalen Ansatz basiert, wird laterales abgeführtes Wasser nicht weiter berücksichtigt. In der vorliegenden Untersuchung wurde nur mit einer Gefälleklasse (vollständig eben) gerechnet, da es sich trotz ausgeprägtem Mikrorelief um ein ebenes Untersuchungsgebiet handelt. Wasser, das kleinflächig lateral zum Abfluss kommt, versickert in der Regel innerhalb oder in der benachbarten EFL.

Existiert kein Grundwassermodell, so kann der Flurabstand in Form von Jahresmittelwertklassen und zugehörigen Schwankungsamplituden vorgegeben werden. Mit dem vorliegenden, validierten Grundwassermodell konnten für die Schwerpunkte aller EFL instationäre Flurabstandsganglinien auf Monatsbasis für den kompletten Modellzeitraum erzeugt werden. Modelltechnische Bedingung ist dabei, dass ein Mindestflurabstand von 10 cm nicht unterschritten wird, um stets eine ausreichende vertikale Modellgebietsausdehnung zu garantieren.

2.4 Systemvoraussetzungen

Je mehr EFL vorliegen, umso umfangreicher und zeitintensiver wird die Berechnung. Gleiches gilt für die Anzahl an unterschiedlichen Klassen der Landnutzung,

der Bodentypen, des Geländegefälles und des Flurabstands.

Bei der beschriebenen Modellierung wurde mit 1570 Einheitsflächen, 17 Landnutzungsklassen, 830 Bodentypen, einer Gefälleklasse und 1570 Flurabstandsklassen gerechnet. Bei einer Rechenleistung von 3 GHz wurden mit stationären Flurabstandsklassen für den Rechenlauf der 139 Monate des Modellzeitraums etwa 5 Minuten benötigt. Bei Einbeziehung der instationär vorgegebenen Flurabstände dauerte die Berechnung mit 500 MB RAM zunächst 8 Stunden, nach Aufstockung des Arbeitsspeichers auf 3 GB konnte der Rechenlauf auf etwa 40 Minuten verkürzt werden. Ein weiteres Aufstocken des Arbeitsspeichers brachte keine weitere Beschleunigung. Eine weitere Vergrößerung des Rechenumfanges konnte von SIWA on ArcVIEW® nicht mehr verarbeitet werden und führte zu Fehlermeldungen.

2.5 Kalibrierung und Validierung

In der Literatur ergibt sich auf Grund von Unterschieden in Pedologie, Niederschlagshöhen, Flurabständen und Untersuchungsmethode in der Regel ein sehr breites Spektrum an Vergleichswerten der Grundwasserneubildung oder Evapotranspiration. Zur Validierung der Modellergebnisse können Literaturvergleichswerte ähnlicher Standorte daher nur bedingt herangezogen werden. Gleiches gilt für vorliegende kleinmaßstäbliche Modellierungen der Grundwasserneubildung, die das Untersuchungsgebiet enthalten, da diese die kleinräumigen Verhältnisse von Böden, Flurabständen, Landnutzung und Lokalklima nur unzureichend nachbilden. Für Baden-Württemberg verfügt die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz [9] über ein derartiges Modell zur landesweiten Berechnung der Grundwasserneubildung (Rasterweite 500 m). Dieses berechnet im untersuchten Modellgebiet und -zeitraum eine Grundwasserneubildungsrate, die 37% über der des vorliegenden Modells liegt.

Die beste Möglichkeit zur Kalibrierung des Modells bietet daher der Vergleich berechneter Modellergebnisse mit gemessenen Sickerwasserraten nahe gelegener Lysimeter. Sind mehrere Lysimeter vorhanden, empfiehlt es sich, diese unter Berücksichtigung von Landnutzung und Bodenaufbau einer Plausibilitätskontrolle zu unterziehen, da bei schlechter Einbringung des Lysimeters u.U. der Bodenmonolith gestört ist oder es zu Umlaufeffekten kommt, wodurch eine zu hohe Grundwasserneubildung gemessen wird.

Für die vorliegende Modellierung existieren vier nahe gelegene Lysimeter, von denen einer signifikant höhere Sickerwasserraten aufwies und daher aus dem Vergleich ausgeschlossen wurde. An den übrigen drei Lysimetern wurde die Landnutzung sowie der Bodenaufbau mittels Cobrasondierungen [nach 10] ermittelt und die effektive Durchwurzelungstiefe [nach 6] berechnet. In einem Testlauf wurde die Sickerwasserrate für die drei Lysimeter-

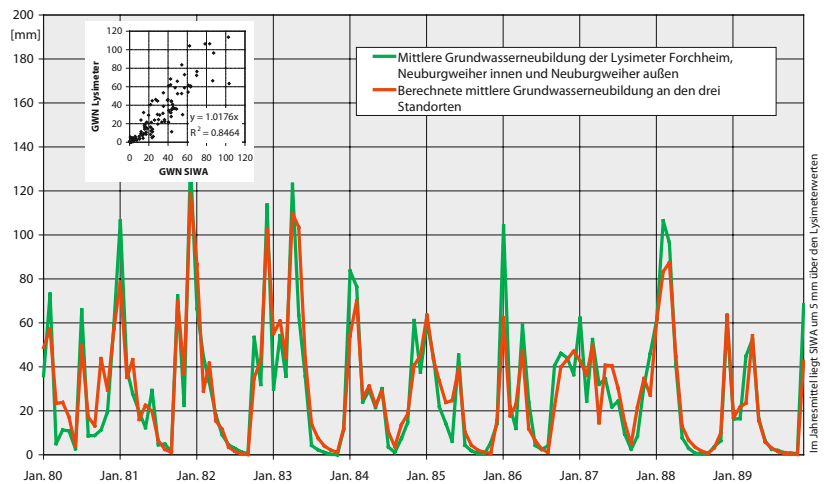


Bild 3. Monatssummen der Grundwasserneubildung nahe gelegener Lysimeter im Vergleich mit Modellergebnissen für diese Standorte.

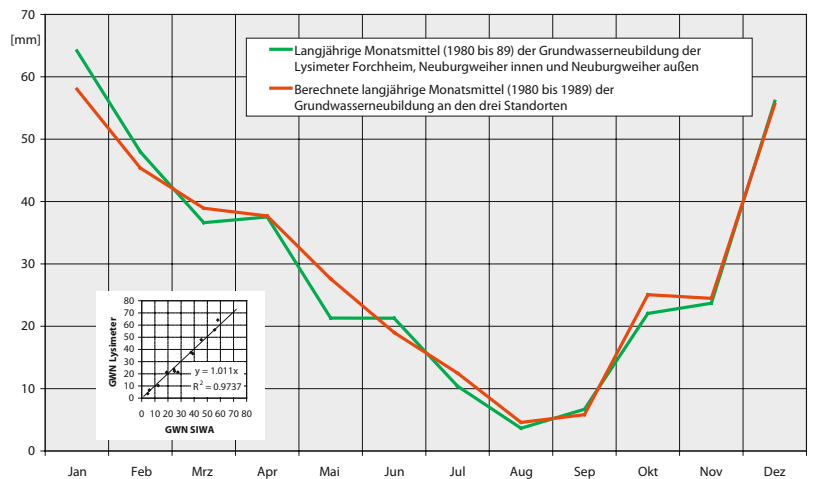


Bild 4. Mittlerer Jahresgang der Grundwasserneubildung nahe gelegener Lysimeter im Vergleich mit Modellergebnissen für diese Standorte.

standorte mit SIWA on ArcVIEW® berechnet. **Bild 3** und **4** zeigen den Vergleich der gemessenen und berechneten Werte und belegen die hohe Abbildungsgüte des Modells. Die Kalibrierung kann ggf. über die K_c -Werte, die effektiven Wurzeltiefen und die Homogenitätswerte, die den Einfluss präferenzialer Fließwege steuern, vorgenommen werden. Aufgrund der von Beginn an hervorragenden Abbildungsgüte konnte auf eine Veränderung dieser Parameter jedoch verzichtet werden.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Räumliche und zeitliche Auflösung der Ergebnisse

Die flächenhafte Darstellung der auszuwertenden Größen des Bodenwasserhaushalts sollte zur einfachen Identifikation der Flächen im Maßstab 1:5000 erfolgen [1]. Für die Erstellung der Karten sollten aus Gründen der Übersichtlichkeit wenige, aussagekräftige Monate festgelegt werden. Der Bodenwasserhaushalt ausge-

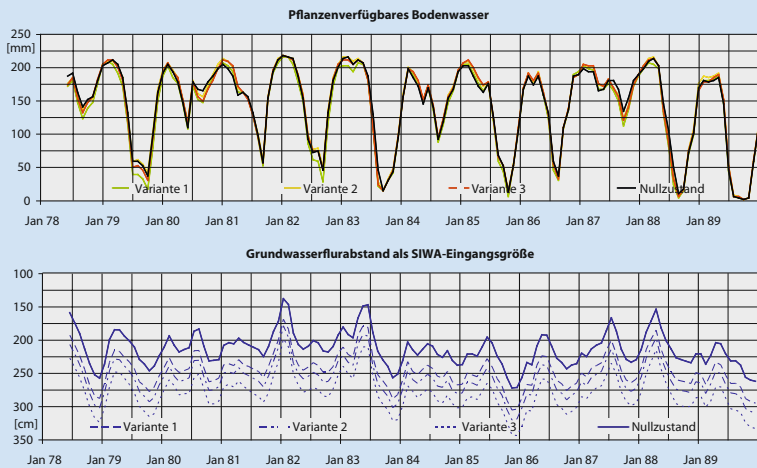


Bild 5. Ganglinien des pflanzenverfügbaren Bodenwassers und Flurabstands einer Einheitsfläche.

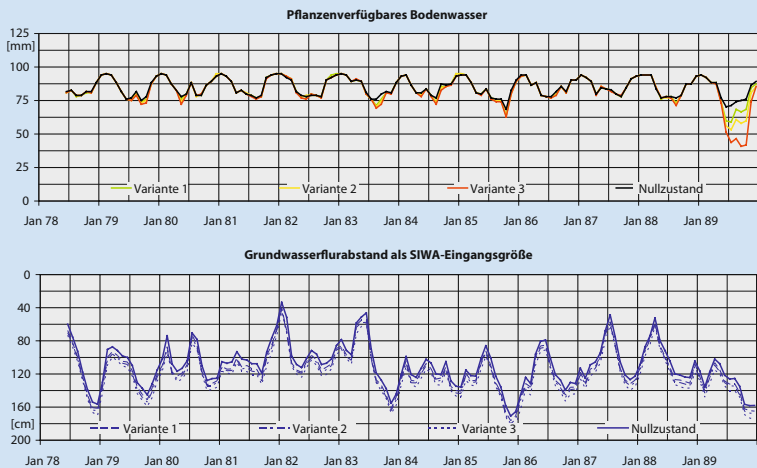


Bild 6. Ganglinien des pflanzenverfügbaren Bodenwassers und Flurabstands einer Einheitsfläche.

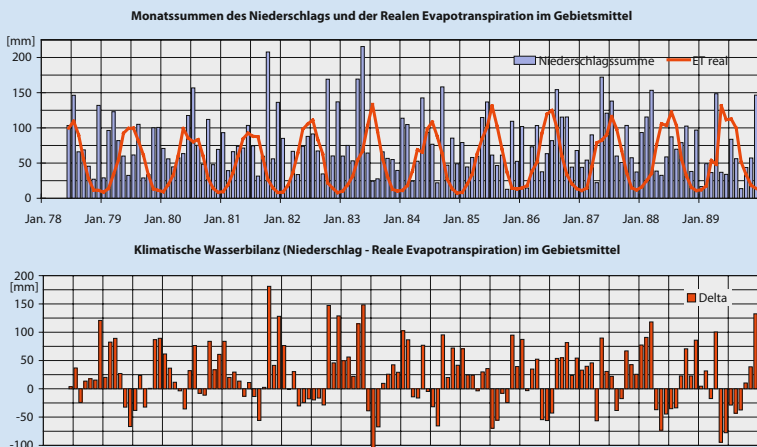


Bild 7. (Aktuelle) Klimatische Wasserbilanz im Modellzeitraum.

wählter Standorte kann mit Ganglinien über den vollständigen Modellzeitraum und den zugehörigen Bodenprofilen detailliert dargestellt werden.

In Abstimmung mit den UVS-Gutachtern für das geplante Wasserwerk wurden die Monate Mai und September (im langjährigen Mittel) zur flächenhaften Darstellungen des pflanzenverfügbaren Bodenwassers (W_{pf}) festgelegt. Dabei wurden die drei zu untersuchenden Entnahmevarianten jeweils dem Nullzustand gegenüber gestellt und Karten zum W_{pf} erstellt. Weiterhin wurden 25 Standorte ausgewählt, für die Ganglinien der Monatsmittelwerte des W_{pf} dargestellt wurden (vgl. **Bild 5** und **6**).

3.2 Auswirkungen der Grundwasserentnahme

Die Ergebnisse zeigen die Verteilung der möglicherweise von der Grundwasserentnahme betroffenen Standorte über den Absenkungsbereich (**Bild 8**): Die größten Auswirkungen sind für Einheitsflächen mittlerer Flurabstände von ein bis zwei Metern zu erwarten. Standorte mit kleineren Flurabständen sind zumeist auch nach der Grundwasserabsenkung noch kapillar an das Grundwasser angeschlossen. Standorte mit größeren Flurabständen sind oft bereits heute nicht an das Grundwasser angeschlossen und somit gegenüber einer Grundwasserentnahme unempfindlich. Für einen derartigen Standort zeigt **Bild 5** neben den ergänzend dargestellten Ganglinien des Flurabstands, die Ganglinien des W_{pf} für die unterschiedlichen Entnahmevarianten. Die Ganglinien des W_{pf} liegen aufeinander. Die bereits heute stattfindende starke Abnahme des W_{pf} während der Vegetationszeit ist daher auf die Evapotranspiration des Bestands zurückzuführen, ohne dass kapillare Nachlieferung aus dem Grundwasser dieses Defizit ausgleichen kann.

Standorte mittlerer Flurabstände geraten durch die Absenkung (in Abhängigkeit der jeweiligen Bodenarten) leichter in einen Bereich reduzierter kapillarer Aufstiegsraten. **Bild 6** zeigt für einen Standort, an dem möglicherweise Kapillarabrisseffekte zum Tragen kommen, dass es sich dabei um eine allmähliche Abnahme der kapillaren Nachlieferung handelt. Mit zunehmender Absenkung des Grundwasserspiegels kann die verminderte kapillare Aufstiegsrate das während der Vegetationszeit entstehende Defizit im Bodenwasserhaushalt nicht mehr vollständig kompensieren. Dennoch kommt es zu keiner vollständigen Entleerung des W_{pf} .

Hinsichtlich des Bodenwasserhaushalts ergeben sich im Modellgebiet für eine Grundwasserentnahme pedogenetisch sehr vorteilhafte Rahmenbedingungen, da der zentrale Absenkungsbereich durch mächtige Auelehmedecken bedeckt wird. Diese werden zumeist aus stark schluffigen Bodenarten gebildet, die ein enormes Speichervermögen für W_{pf} aufweisen und daher Zeiten mit wegfallender kapillarer Nachlieferung sehr gut abpuffern können.

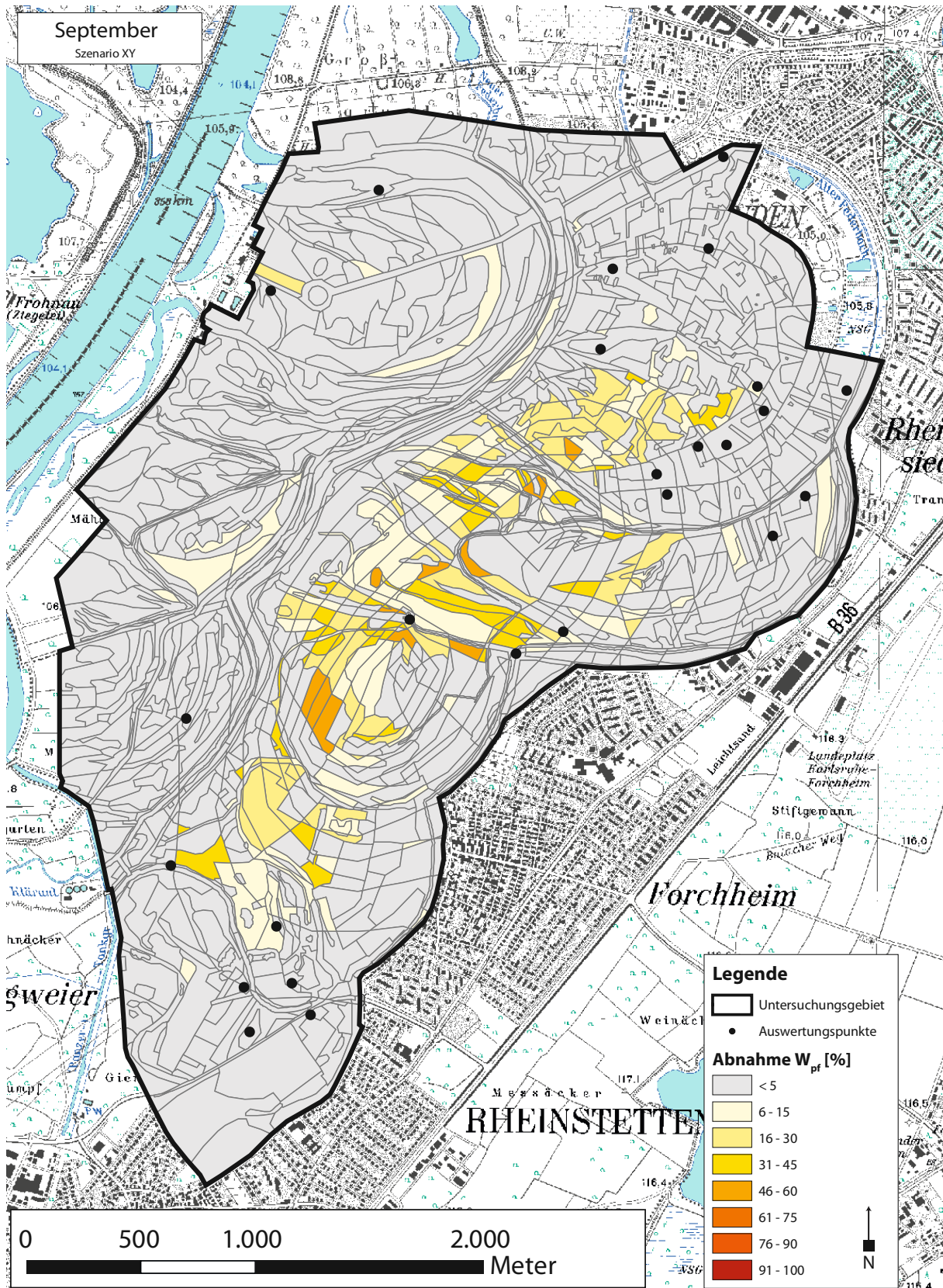


Bild 8.
Flächenhafte
Darstellung
der
Berechnungs-
ergebnisse:
Prozentuale
Abnahme
des pflanzen-
verfügbaren
Bodenwassers
im September.

Auffallend in **Bild 6** ist, dass es selbst bei Überschreitung eines Grenzflurabstands trotz auftretender Kapillarabrisseffekte nicht zu einer entsprechenden Abnahme des W_{pf} kommen muss. Fallen in dieser kritischen Phase ausreichend Niederschläge, so füllen diese

das während der Vegetationszeit entstehende Defizit im Bodenwasserhaushalt von oben her auf. In den Jahren 1978 und 1985 kommt es während der Vegetationszeit, trotz ähnlich niedriger Grundwasserstände wie im Jahr 1989, nicht zu einer vergleichbaren Verringerung im

W_{pf} da in diesen Perioden eine ausgeglichene Wasserbilanz (vgl. **Bild 7**) vorherrscht.

Die Modellierung hat gezeigt, dass bei Vorliegen eines hoch auflösenden digitalen Geländemodells, eines numerischen Grundwassermodells sowie einer tiefgründigen Bodenkartierung, die über die Auflösung der amtlichen Bodenkarte 1:25 000 hinausgeht, belastbare Prognosen zu Veränderungen im Bodenwasserhaushalt getroffen werden können.

4. Schlussfolgerungen

4.1 Wasserspeichervermögen der Auelehmedecken

Die Ergebnisse der Modellierung des Bodenwasserhaushalts zeigen ein äußerst hohes Puffervermögen der Auelehmedecken. In Bereichen, die im heutigen Zustand geringe Flurabstände aufweisen und von Grundwasserabsenkungen mit bis zu einem Meter betroffen sein werden, ist bei entsprechender Mächtigkeit der Auelehmedecken keine Veränderung im Bodenwasserhaushalt zu erwarten. Für viele dieser sensiblen Bereiche im Absenkungsgebiet konnte gezeigt werden, dass es hinsichtlich des Bodenwasserhaushalts zu keinen negativen Veränderungen kommen wird.

4.2 Kapillarsperreneffekte

Kapillarsperreneffekte werden durch das Modell nicht abgebildet. Tritt in der Abfolge der Bodenhorizonte ein Wechsel von einer feinkörnigen in eine sehr viel grobkörnigere Bodenart auf, so kann infiltrierendes Wasser diese Kapillarsperre nicht ungehindert passieren. Es kommt oberhalb dieser Grenze zu einem Aufstau des Sickerwassers und bei entsprechender Hangneigung zu Interflow. Im Schluff- und Tonbereich sind die lateralen Abflussmengen dabei vergleichbar gering, wodurch die Kapillarsperre ein Speicherreservoir für pflanzenverfügbares Bodenwasser darstellt [11]. Derartige Wechsel in den Bodenarten kommen in der Aue des Rheins regelmäßig vor. Die typische Schichtung dieser Böden, die ein Abbild der früheren Fließgeschwindigkeiten darstellt, ist Auelehm (tonige Schluffe) über Sanden über Kiesen. Für Bodeneinheiten, die innerhalb der Wurzelzone einen derartigen Wechsel in der Horizontabfolge aufweisen, muss daher von einem zusätzlichen Wasserdargebot für die Pflanzen ausgegangen werden, da in Folge der Kapillarsperre v.a. die Frühjahrsvollsättigung länger erhalten bleibt. Diese Kapillarsperreneffekte konnten durch Tracerversuche mit Brilliant Blue im Modellgebiet in situ nachgewiesen werden

4.3 Kraut-, Strauch- und Baumschicht

Die Stadtwerke Karlsruhe GmbH hat mit der zuständigen Fachbehörde vereinbart, die Veränderungen im Bodenwasserhaushalt in der laufenden UVS zu quantifizieren.

Dies ist mit dem Erscheinen des DVGW-Arbeitsblattes W 150 [2] Standard im Beweissicherungs- und

Bewertungsverfahren für Grundwasserentnahmen. Dabei ist für eine Prognose zur Entwicklung der Artenzusammensetzung der Kraut- und Strauchschicht, zumindest für feuchte und wechselfeuchte Standorte, eine derartige Modellierung wegen fehlender Literaturvergleichswerte von untergeordneter Bedeutung. Literaturdaten liefern in der Regel nur Vergleichswerte zu Flurabstandsspannen [7], auf denen die empfindlichen, vom Grundwasser abhängigen Pflanzengesellschaften fußen. Bezüglich der Charakteristik des Bodenwasserhaushalts und den Auswirkungen von Veränderungen des W_{pf} der Standorte dieser Pflanzengesellschaften besteht Forschungsbedarf.

Zeitweise hoch anstehendes Grundwasser und evtl. auch die Dauer der alljährlichen Überflutung sind entscheidende Standortfaktoren, die den stenöken, konkurrenzschwachen Pflanzen (Feuchte- und Wechselwechselezeiger) das Überleben sichern. Fallen diese Standortfaktoren weg, so werden diese Arten in der Regel von den eindringenden, wuchskräftigeren Pflanzen verdrängt. Entscheidend für die derzeitige Bewertung der Entwicklung dieser Pflanzengesellschaften ist daher nicht die Veränderung im Bodenwasserhaushalt, sondern die Entwicklung der Grundwasserstände, besonders im Hinblick auf die zu erwartende Häufigkeit geringer Flurabstände. Diese Daten stellt jedoch bereits ein Grundwassermodell zur Verfügung. In Ermangelung von Literaturvergleichsdaten lagen keine Informationen darüber vor, ob infolge weitgehend gleich bleibender Verhältnisse im Bodenwasserhaushalt derartige Verdrängungsmechanismen unterbunden werden.

Ein etablierter Baumbestand ist kaum mehr einem Konkurrenzdruck durch neue, standorttypische Baumkeimlinge unterworfen, da diese am Waldboden größtenteils ausgeschattet werden. Zur Beantwortung der Frage, ob die Wasserversorgung einer bestehenden Baumschicht oder bestehender Einzelbäume weiterhin in ausreichendem Maße gewährleistet sein wird, stellt eine Modellierung des Bodenwasserhaushalts somit ein wertvolles Werkzeug dar.

4.4 Land- und Forstwirtschaft

Anders als die natürliche Vegetation unterliegen kultivierte Nutzpflanzen durch Herbizideinsatz, mechanische Bodenbearbeitung und Durchforstung keinem Konkurrenzdruck durch andere Pflanzen. Veränderungen des W_{pf} wirken sich jedoch direkt auf die Ertragsfähigkeit land- und forstwirtschaftlicher Flächen aus. Über die Modellergebnisse können Standorte, die möglicherweise von Ertragseinbußen betroffen sind, identifiziert werden, die Ertragseinbußen quantifiziert werden und somit zivilrechtliche Ansprüche überprüft werden.

5. Zusammenfassung

Durch die Modellierung des Bodenwasserhaushalts mit SIWA on ArcVIEW® kann mit vertretbarem Aufwand eine

praxisnahe Abschätzung und Prognose der Umweltauswirkungen infolge einer Grundwasserentnahme durch ein zukünftiges Wasserwerk getroffen werden, die über die alleinige Betrachtung der durch ein Grundwassermodell berechneten Grundwasserabsenkungen hinausgeht. Das Modell liefert detaillierte und belastbare Aussagen, die im Rahmen der Vorverfahren von Genehmigungen genutzt werden können, um die Auswirkungen auf die Vegetation besser zu beurteilen. Auch zur späteren Überprüfung zivilrechtlicher Ansprüche leistet die standortspezifische Modellierung der Veränderungen im pflanzenverfügbaren Bodenwasser wertvolle Dienste. Eine weiter reichende Interpretation der Ergebnisse wird bislang allerdings durch das Fehlen entsprechender Literaturvergleichsdaten behindert.

Literatur

- [1] *Josopait, V., Raissi, F. und Eckl, H.*: Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an Wasserrechtsanträge zur Grundwasserentnahme. Geofakten 1, 3. Aufl. 2008 Hannover.
- [2] DVGW-Arbeitsblatt W 150: Beweissicherung für Grundwasserentnahmen der Wasserversorgung. DVGW-Regelwerk 10/2008 Bonn.
- [3] *Wirsing, T.*: Erstellung von Bodenfunktionskarten zur Bewertung des Bodenwasserhaushaltes im Wassersicherstellungsgebiet Kastenwört mittels GIS. Diplomarbeit am Inst. für Geographie und Geoökologie (IfGG) des KIT in Zusammenarbeit mit der Stadtwerke Karlsruhe GmbH, unveröff. 2006.
- [4] *Deinlein, W.*: Großräumiges, instationäres Grundwassermodell Karlsruhe – Modellaufbau und Kalibrierung für das Einzugsgebiet des geplanten Wasserwerks Kastenwört. Stadtwerke Karlsruhe GmbH, unveröff. 2006.
- [5] *Monnikhoff, B.*: ArcSIWA® 1.1 – Berechnung der Grundwasserneubildung. Benutzerhandbuch. WASY GmbH 1. Aufl. 2001 Berlin.
- [6] *Müller, U.*: Auswertungsmethoden im Bodenschutz – Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). Arb.-H. Boden 2/2004 Hannover.
- [7] Erftverband (Hrsg.) *Lenkenhoff, P. und Rose, U.*: Erfassung, Beschreibung und Bewertung grundwasserabhängiger Oberflächengewässer und Landökosysteme hinsichtlich vom Grundwasser ausgehender Schädigungen – Bericht zu Teil 2 des LAWA-Projekts G 1.01: Analyse der vom Grundwasser ausgehenden signifikanten Schädigung grundwasserabhängiger Ökosysteme (quantitative Aspekte), 2003 Bergheim.
- [8] *Richter, D.*: Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194, 1995 Offenbach.
- [9] Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW): Sickerwassermodellierung basierend auf Arbeiten zum Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg, unveröff 2004.
- [10] Ad-hoc-AG Boden: Bodenkundliche Kartieranleitung. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 5. Aufl. 2005 Hannover.
- [11] *Wohnlich, S.*: Kapillarsperreneffekte bei Sickerströmungen in geschichteten Lockergesteinen. Habilitationsschrift, Universität Karlsruhe (TH) 1991.

Eingereicht: 29.07.2009
Korrektur: 22.12.2009

Im Peer-Review-Verfahren begutachtet

Autoren

Dipl.-Geoökol. **Tobias Wirsing**

E-Mail: wiedehopf@web.de |

Dipl.-Geoökol. **Wolfgang Deinlein**

E-Mail: wolfgang.deinlein@stadtwerke-karlsruhe.de |

Dr. **Bernd Hofmann**

E-Mail: hofmann@stadtwerke-karlsruhe.de |

Prof. Dr. **Matthias Maier**

E-Mail: matthias.maier@stadtwerke-karlsruhe.de |

Dr. **Karl Roth**

E-Mail: karl.roth@stadtwerke-karlsruhe.de

Stadtwerke Karlsruhe GmbH |

Daxlanderstraße 72 |

D-76185 Karlsruhe