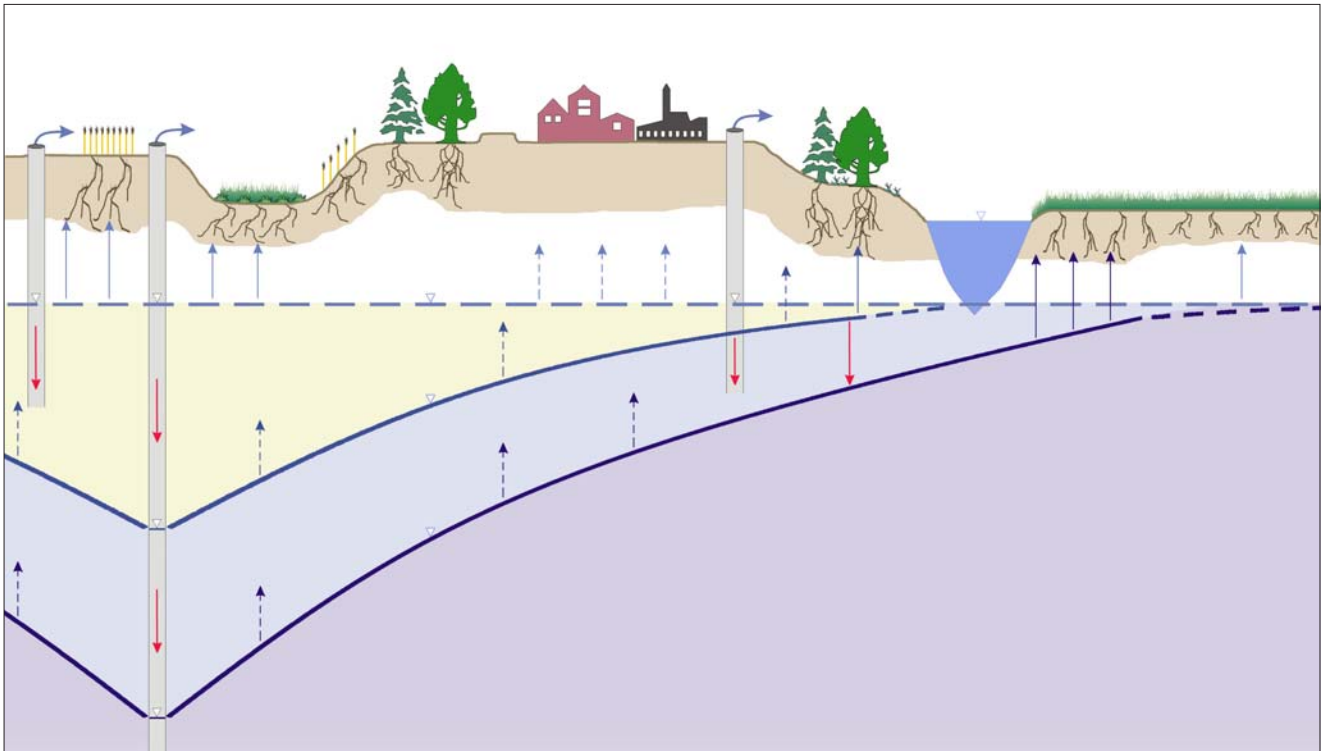


GeoBerichte 15



LANDESAMT FÜR
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE



Leitfaden für
hydrogeologische und
bodenkundliche Fachgutachten
bei Wasserrechtsverfahren
in Niedersachsen



Niedersachsen



GeoBerichte 15

Landesamt für
Bergbau, Energie und Geologie

**Leitfaden für
hydrogeologische und
bodenkundliche Fachgutachten
bei Wasserrechtsverfahren
in Niedersachsen**

HANS ECKL & FARHAD RAISSI

Hannover 2009

Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel. (0511) 643-0
Fax (0511) 643-2304

Download unter www.lbeg.niedersachsen.de

1. Auflage

Version: 17.09.2009

Redaktion: Ricarda Nettelmann
e-mail: bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de

Titelbild: Schematische Darstellung der Auswirkungen einer Grundwasserentnahme
(Entwurf: F. Raissi, s. Abb. 4).

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober_15_2009

GeoBer.	15	S. 1 – 99	39 Abb.	10 Tab.	Anh.	Hannover 2009
---------	----	-----------	---------	---------	------	---------------

Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen

HANS ECKL & FARHAD RAISSI

Kurzfassung

Bei der Entnahme von Grundwasser sind grundsätzlich Auswirkungen auf den Wasser- und Naturhaushalt sowie auf Nutzungen Dritter möglich. Aus diesem Grunde werden im Rahmen eines behördlichen Zulassungsverfahrens Art und Umfang der entnahmebedingten Beeinflussungen geprüft und beurteilt. Damit soll sichergestellt werden, dass Beeinträchtigungen, soweit möglich, vermieden, minimiert oder in angemessener Weise ausgeglichen werden.

Die Auswirkungen einer Grundwasserentnahme sind von der Entnahmemenge und von den örtlichen hydrogeologischen und bodenkundlichen Gegebenheiten abhängig. Wesentliche Bestandteile eines Wasserrechtsantrags sind daher das hydrogeologische und gegebenenfalls (bei Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt) das bodenkundliche Gutachten. In diesen Fachunterlagen sind das unterirdische Einzugsgebiet darzustellen und die mutmaßlichen Auswirkungen der beabsichtigten Entnahme auf den Grundwasserstand (Ermittlung des Ausmaßes und der Reichweite von Grundwasserabsenkungen), auf den Grundwasserhaushalt und auf die Grundwasserbeschaffenheit sowie die Veränderungen des Bodenwasserhaushalts einschließlich der dadurch hervorgerufenen Ertragsbeeinträchtigungen und Beeinflussungen der Vegetation zu ermitteln und zu bewerten.

Der vorliegende Leitfaden gibt Antragstellern und ihren externen bzw. internen Fachgutachtern sowie den Genehmigungsbehörden Empfehlungen und Hinweise im Hinblick auf die fachlichen Anforderungen an Wasserrechtsanträge. Das beschriebene Anforderungsprofil ist in erster Linie auf Grundwasserentnahmen zugeschnitten, bei denen eine Beteiligung des LBEG als Teil des Gewässerkundlichen Landesdienstes vorgesehen ist. Dies ist der Fall bei bedeutenden Entnahmemengen (größer als 250 000 m³/a im Lockergestein und größer als 100 000 m³/a im Festgestein), bei zu erwartenden wesentlichen Auswirkungen, wobei auch die Summenwirkung von kleineren Einzelentnahmen bedeutend werden kann, oder falls die fachliche Bewertung der Antragsunterlagen vertiefte geowissenschaftliche Kenntnisse erfordert.

In der Vergangenheit hat sich das LBEG in der Schriftenreihe „Geofakten“ und in weiteren Veröffentlichungen zu verschiedenen Themen, die im Zusammenhang mit Grundwasserentnahmen stehen, geäußert. Der Leitfaden fasst diese für Wasserrechtsanträge wesentlichen Fachpublikationen zusammen. Die darin enthaltenen Empfehlungen und Hinweise stehen somit vollständig in einem Band zur Verfügung. Ihre Nutzung bei Wasserrechtsverfahren sollte dadurch erleichtert werden. Bei dieser Gelegenheit wurden die Unterlagen auf ihre Aktualität hin überprüft und um zusätzliche Themen erweitert. So wird u. a. auf zusätzliche Ansprüche an Wasserrechtsanträge hingewiesen, die sich aus der EG-Wasserrahmenrichtlinie ergeben, der generelle Ablauf eines Wasserrechtsverfahrens aus dem Blickwinkel unserer fachlichen Beteiligung dargestellt, und es werden Hinweise für die Erstellung von Gutachten gegeben, die nicht nur im Wasserrechtsverfahren, sondern auch in einem zeitnah anschließenden Wasserschutzgebietsverfahren Verwendung finden sollen.

Inhalt

1	Veranlassung und Zielsetzung	5
2	Gesetzliche Grundlagen	5
2.1	Benutzungstatbestände nach § 4 NWG	6
2.2	EG-Wasserrahmenrichtlinie	6
3	Hinweise zum Verfahrensablauf	8
4	Hydrogeologisches Gutachten	11
4.1	Generelle Hinweise und Anforderungen	11
4.2	Hinweise für Aufbau und Inhalt eines hydrogeologischen Gutachtens	12
4.3	Abgrenzung von Einzugs- und Absenkungsgebieten im Lockergestein	18
4.4	Abgrenzung von Einzugs- und Absenkungsgebieten im Festgestein	29
4.5	Anforderungen bei Grundwasserentnahmen für die Feldberegung	31
4.6	Erweiterung des Wasserrechtsgutachtens zur Verwendung im Wasserschutzgebietsverfahren	33
5	Bodenkundliches Gutachten	34
5.1	Generelle Hinweise und Anforderungen	34
5.2	Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen auf den Bodenwasserhaushalt	35
5.3	Ermittlung von Grundwasserabsenkungen mit bodenkundlichen Methoden	36
5.4	Vorgehensweise bei der Ermittlung der Grundwasserabsenkungsbeträge	37
5.5	Anteilige Grundwasserabsenkungen	39
5.6	Anforderungen bei Grundwasserentnahmen für die Feldberegung	41
6	Dokumentation der Ergebnisse	42
7	Beweisführung – Vorschläge für einen Durchführungsplan für die Beweissicherung	43
7.1	Hydrogeologische Beweissicherung	45
7.2	Bodenkundliche Beweissicherung	47
7.3	Forstliche und vegetationskundliche Beweissicherung	52
7.4	Beweissicherung Bauwerke	54
7.5	Beweissicherung Natur und Landschaft	57
8	Basisinformation/Datengrundlage	58
9	Literatur	64
10	Anhang	70
10.1	Hydrogeologische Räume und Hydrostratigraphische Einheiten in Niedersachsen	70
10.2	Bodenregionen und Bodengesellschaften in Niedersachsen	81
10.3	Glossar	93
10.4	Abkürzungen	98

1 Veranlassung und Zielsetzung

Bei der Entnahme von Grundwasser sind grundsätzlich Auswirkungen auf den Wasser- und Naturhaushalt sowie auf Nutzungen Dritter möglich. Aus diesem Grunde werden im Rahmen eines behördlichen Zulassungsverfahrens Art und Umfang der entnahmebedingten Beeinflussungen aus hydrogeologischer und bodenkundlicher Sicht geprüft und bewertet.

In der Schriftenreihe „Geofakten“ und in weiteren Veröffentlichungen hat das LBEG Anforderungen an hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten für Wasserrechtsanträge definiert, die bei der fachlichen Begründung des Wasserrechtsantrags von Bedeutung sind. Diese bisher in verschiedenen wasserrechtlich relevanten Publikationen enthaltenen Empfehlungen und Hinweise werden mit dem vorliegenden Geobericht in einem Band zusammengefasst dargestellt und damit leichter nutzbar. Die Geoberichte des LBEG werden in gedruckter Form veröffentlicht und geben damit nur den Kenntnisstand bis zum Zeitpunkt der Drucklegung wieder. Sollten sich neue Entwicklungen und Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Wasserrechtsanträgen ergeben, so werden bei Bedarf die auf der Internetseite des LBEG weiterhin zur Verfügung stehenden Geofakten zeitnah aktualisiert.

Die vorgeschlagenen fachlichen Anforderungen im Hinblick auf Umfang und Inhalt von Wasserrechtsanträgen sind in erster Linie auf Grundwasserentnahmen beschränkt, bei denen eine Beteiligung des LBEG als Teil des Gewässerkundlichen Landesdienstes in der Regel vorgesehen ist (NMU 2008), d. h.

- bei Entnahmemengen größer als 250 000 m³/a in Lockergesteinen oder größer als 100 000 m³/a in Festgesteinen,
- wenn vertiefte geowissenschaftliche Kenntnisse erforderlich sind.

Die Empfehlungen und Hinweise des Leitfadens sollen Antragstellern und ihren Fachgutachtern sowie den Genehmigungsbehörden

- eine Hilfestellung bei der Festlegung der fachlichen Anforderungen an Wasserrechtsanträge im Hinblick auf deren Umfang und Inhalt bieten,

- eine weitgehend landeseinheitliche Vorgehensweise bei der Erstellung und Bewertung von Fachgutachten ermöglichen und
- deutlich machen, welche Kriterien das LBEG bei der Prüfung und Bewertung eines Wasserrechtsantrags zugrunde legt.

Grundsätzlich sind Inhalt und Umfang der Unterlagen im einzelnen Wasserrechtsverfahren in Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde festzulegen. Dabei kann der vorliegende Leitfaden mit den darin enthaltenen Empfehlungen und Anregungen, die sich bei einer Vielzahl von Wasserrechtsverfahren in der Vergangenheit bewährt haben, den Beteiligten als Leitlinie und Orientierungshilfe dienen.

2 Gesetzliche Grundlagen

Die Erteilung von Wasserrechten erfolgt nach den Vorschriften des Niedersächsischen Wassergesetzes (NWG) in der Fassung vom 25.07.2007. Im Kapitel I des ersten Teils des NWG ist die Benutzung der Gewässer geregelt. Im Einzelnen werden behandelt in

- Abschnitt 1 Erlaubnis, Bewilligung (§§ 3–21),
- Abschnitt 2 Verfahrensvorschriften (§§ 22–31),
- Abschnitt 3 alte Rechte und alte Befugnisse (§§ 32–37),
- Abschnitt 4 Ausgleich von Rechten und Befugnissen (§ 38).

Dieser Leitfaden dient der fachgerechten und einheitlichen Umsetzung der im NWG formulierten Anforderungen an die Benutzungen der Ressource Grundwasser und damit im Zusammenhang stehender oberirdischer Gewässer aus der Sicht des Grundwasser- und Bodenmanagements.

Weitere „Bestimmungen für das Grundwasser, Heilquellenschutz“ finden sich im Vierten Teil des NWG. Dort werden im

- Kapitel I die erlaubnisfreie Benutzung, Reinhaltung, Erdaufschlüsse (§§ 136–138) und im

- Kapitel II der Heilquellenschutz (§§ 139–144)

besonders geregelt.

2.1 Benutzungstatbestände nach § 4 NWG

Benutzungen im Sinne dieses Gesetzes sind

- Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern,
- Aufstauen und Absenken von oberirdischen Gewässern,
- Entnehmen fester Stoffe aus oberirdischen Gewässern, soweit dies auf den Zustand des Gewässers oder auf den Wasserabfluss einwirkt,
- Einbringen und Einleiten von Stoffen in oberirdische Gewässer,
- Einbringen und Einleiten von Stoffen in Küstengewässer,
- Einleiten von Stoffen in das Grundwasser,
- Entnehmen, zu Tage fördern, zu Tage leiten und Ableiten von Grundwasser.

Als Benutzungen gelten auch folgende Einwirkungen:

- Aufstauen, Absenken und Umleiten von Grundwasser durch Anlagen, die hierzu bestimmt oder hierfür geeignet sind,
- Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Wassers herbeizuführen.

Maßnahmen, die dem Ausbau eines oberirdischen Gewässers dienen, sind keine Benutzungen. Dies gilt auch für Maßnahmen der Unterhaltung eines oberirdischen Gewässers, soweit hierbei nicht chemische Mittel verwendet werden.

Aus hydrogeologischer und bodenkundlicher Sicht sind damit im Einzelnen folgende wesentliche Benutzungen zu betrachten:

- Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern:
Hierbei sind Auswirkungen auf das gewässernahe Grundwasser und Vegetati-

onsveränderungen in gewässernahen Böden zu betrachten.

- Aufstauen und Absenken von oberirdischen Gewässern:
Hierbei sind Auswirkungen auf das gewässernahe Grundwasser und Vegetationsveränderungen in gewässernahen Böden zu betrachten.
- Einleiten von Stoffen in das Grundwasser:
Hierbei sind Veränderungen der Grundwasserstände und -fließbewegungen sowie hydrochemische Veränderungen zu beachten.
- Entnehmen, zu Tage fördern, zu Tage leiten und Ableiten von Grundwasser:
Hierunter fallen alle wesentlichen Benutzungen des Grundwassers durch Brunnen, Quellen, Stollen u. ä. Bei diesen stehen potenzielle Veränderungen der Grundwasserstände und -fließbewegungen sowie hydrochemische Veränderungen und die Auswirkungen von Absenkungen auf die betroffenen Landflächen im Vordergrund der Betrachtungen. Grundwasser wird u. a. genutzt
 - für die öffentliche und private Trinkwasserversorgung,
 - als Brauchwasser für die Industrie,
 - für die landwirtschaftliche Feldberegung,
 - im Zusammenhang mit Bauvorhaben,
 - im Zusammenhang mit Rohstoffabbauvorhaben.

2.2 EG-Wasserrahmenrichtlinie

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie formuliert Bewirtschaftungsziele, die im NWG im Kapitel I des Vierten Teils im § 136a in nationales Recht umgesetzt wurden. Demnach ist das Grundwasser so zu bewirtschaften, dass

- eine nachteilige Veränderung seines mengenmäßigen und chemischen Zustands vermieden wird,
- alle signifikanten und anhaltenden Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen aufgrund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umgekehrt werden,
- ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und Grundwasserneubildung gewährleistet wird und

- ein guter mengenmäßiger und chemischer Zustand erhalten oder bis zum 22. Dezember 2015 erreicht wird.

Die hierbei maßgebende Bewirtschaftungseinheit ist der Grundwasserkörper. Die zuständige Wasserbehörde prüft beim Antrag auf Erteilung einer Erlaubnis (§ 10 NWG), gehobenen Erlaubnis (§ 11 NWG) oder Bewilligung (§ 13 NWG) zur Entnahme von Grundwasser neben den örtlichen Auswirkungen auch, ob u. a. die Ziele hinsichtlich der mengenmäßigen Bewirtschaftung gemäß § 136a Abs. 1 NWG eingehalten oder künftig erreicht werden können. Um die fachlich angemessene Berücksichtigung der vorgenannten Anforderungen in den Genehmigungsverfahren zu erleichtern, ist mit Runderlass des Niedersächsischen Umweltministeriums vom 25.06.2007 über die mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIALBLATT 2007) landesweit für die zu bewirtschaftenden Grundwasserkörper das nutzbare Grundwasserdargebot als ein ohne weitere Nachweise nutzbarer Anteil des verfügbaren Grundwasserdargebots veröffentlicht worden. Die Beurteilung der örtlichen Auswirkungen einer Grundwasserentnahme bleibt hiervon unberührt.

Die Ziele hinsichtlich der mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwasserkörpers gelten demnach ohne weitere Nachweise durch den Antragsteller als erfüllt, wenn die Summe aller Benutzungen gemäß § 4 NWG mit Auswirkungen auf die Grundwassermenge im Grundwasserkörper das im Runderlass angegebene nutzbare Grundwasserdargebot nicht überschreitet.

Bei einer beabsichtigten Überschreitung des nutzbaren Grundwasserdargebots ist im Einzelfall zu prüfen, ob die Ziele hinsichtlich der mengenmäßigen Bewirtschaftung auch noch bei höheren Entnahmen von Grundwasser eingehalten oder künftig erreicht werden können. In diesem Fall oder sofern im Sinne einer vorausschauenden Bewirtschaftung ein konkreter Bedarf an einer höheren Ausschöpfung des verfügbaren Dargebots im Grundwasserkörper gegeben ist, sollten die unteren Wasserbehörden den Gewässerkundlichen Landesdienst (GLD) anfragen, das nutzbare Dargebot unter Berücksichtigung der konkreten Situation in diesem Grundwasserkörper zu überprüfen. Dabei wird zwischen einer differenzierteren Anwendung des vereinfachten Verfahrens zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdarge-

bots und der Anwendung weitergehender, z. T. dann aufwändigerer Methoden unterschieden. Bei einer differenzierteren Anwendung des Verfahrens ist unabhängig vom aktuellen Bedarf der mit vertretbarem Aufwand ermittelbare Wert anzustreben. Basiert das nutzbare Grundwasserdargebot, das der GLD im Rahmen weitergehender eigener Überprüfungen oder das der Antragsteller durch eigene Betrachtungen ermittelt hat, auf der derzeit bestmöglichen Methode, entspricht dies dann dem verfügbaren Dargebot und ist ein Grenzwert im Sinne des gemäß § 136a Abs. 1 NWG einzuhaltenden Zieles.

Die weitergehenden Überprüfungen, z. B. mittels Modellberechnungen, müssen die Auswirkungen einzelner höherer Entnahmen von Grundwasser oder die Ausnutzung des verfügbaren Grundwasserdargebots auf den gesamten Grundwasserkörper beurteilen lassen. Bei Nutzung großräumiger tieferer Grundwasserleiter als dem ersten Stockwerk sind die Untersuchungen je nach Erfordernis auf benachbarte Grundwasserkörper auszudehnen.

Sofern die zuständige Wasserbehörde oder der GLD den Nachweis, dass die Ziele hinsichtlich der mengenmäßigen Bewirtschaftung gemäß § 136a Abs. 1 NWG noch eingehalten oder künftig erreicht werden können, nicht aufgrund eigener Erkenntnisse und Untersuchungen führen können, hat der Antragsteller diesen Nachweis zu erbringen. Die Auswirkung auf die nutzbare Dargebotsreserve gemäß Runderlass des Niedersächsischen Umweltministeriums vom 25.06.2007 (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIALBLATT 2007) sollte in den Antragsunterlagen dargestellt werden.

Für einige Grundwasserkörper liegen noch keine Angaben zum nutzbaren Grundwasserdargebot vor, weil

- ein grenzüberschreitender Grundwasserkörper mit weniger als 25 % seiner Fläche in Niedersachsen liegt und seine Bewirtschaftung mit dem Nachbarland abzustimmen ist oder
- ein Grundwasserkörper aufgrund des Ergebnisses der Bestandsaufnahme gemäß Artikel 5 der Richtlinie 2000/60/EG hinsichtlich seines mengenmäßigen Zustands in der Zielerreichung noch unklar oder unwahrscheinlich ist oder
- das Maß der Wassergewinnung auf den Ostfriesischen Inseln wegen der beson-

ders empfindlichen Süß-/Salzwassergrenze grundsätzlich im Einzelfall bestimmt werden muss.

Für Entnahmen von Grundwasser aus den in den ersten beiden Punkten genannten Grundwasserkörpern gilt die zurzeit der Bestandsaufnahme gemäß WRLL (Bezugsjahr 2003) vorhandene Summe aller Grundwasserentnahmerechte als nutzbares Grundwasserdargebot so lange, bis durch weitere Erkenntnisse des GLD ein neuer Wert für das nutzbare Dargebot für einen Grundwasserkörper benannt und vom MU veröffentlicht werden kann.

Daneben gibt es Grundwasserkörper, bei denen die Summe der genehmigten Entnahmen von Grundwasser über dem ermittelten nutzbaren Grundwasserdargebot liegt, aber die Bestandsaufnahme den mengenmäßig guten Zustand festgestellt hat (keine fallenden Trends bei Grundwasserganglinien etc.). Bis weitere Erkenntnisse des GLD vorliegen, gilt in Anbetracht der Bewertung gemäß Bestandsaufnahme eine Gesamtentnahme von Grundwasser in Höhe der im Bezugsjahr 2003 genehmigten Entnahmemengen zuzüglich 1 % des Trockenwetterdargebots ohne weitere Untersuchungen als nutzbares Grundwasserdargebot.

3 Hinweise zum Verfahrensablauf

Für die Entnahme von Grundwasser ist nach dem Niedersächsischen Wassergesetz (NWG 2007) eine behördliche Erlaubnis oder Bewilligung erforderlich, soweit nicht die Voraussetzungen für eine erlaubnisfreie Benutzung gegeben sind. Die grundsätzlichen Vorgaben für die fachlichen Anforderungen an Wasserrechtsanträge ergeben sich aus dem NWG (s. z. B. §§ 2, 13 und 23).

Gemäß dem Niedersächsischen Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (NUVPG 2007) kann in Abhängigkeit von bestimmten Größen- und Leistungswerten (s. Anlage 1 des NUVPG) eine Prüfung der Umweltverträglichkeit geplanter Gewässerbenutzungen erforderlich werden. So sind im Rahmen der Grundwassergewinnung Fördermengen ab 10 Mio. m³/a grundsätzlich umweltverträglichkeitsprü-

fungspflichtig. Bei einem jährlichen Entnahmevermögen von 100 000 bis weniger als 10 Mio. m³ ist eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls sowie eine standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls bei einer jährlichen Menge von 5 000 bis weniger als 100 000 m³ durchzuführen, falls durch die geplante Grundwasserbenutzung grundwasserabhängige Ökosysteme betroffen sind. Nach § 5 des UVPG des Bundes kann zudem immer dann, wenn die Behörde dies für erforderlich hält, eine Antragskonferenz durchgeführt werden. Bei umweltverträglichkeitsprüfungspflichtigen Vorhaben sollte grundsätzlich eine Antragskonferenz anberaumt werden. Eine Umweltverträglichkeitsstudie umfasst die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen eines Vorhabens.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung ist integraler Teil des Wasserrechtsverfahrens. Darüber hinaus ist nach dem Niedersächsischen Naturschutzgesetz (§ 7 ff) die Erheblichkeit des Eingriffs zu bewerten, und es sind die erforderlichen Unterlagen vom Antragsteller zu erarbeiten. Als Träger öffentlicher Belange sind im Regelfall die Gemeinde, die Landwirtschaftskammer, gegebenenfalls das Landvolk, die Forstämter, Wasser- und Bodenverbände und die Naturschutzverbände zu beteiligen. Die Verbandsbeteiligung hat nach Niedersächsischem Naturschutzgesetz ab einer Fördermenge von 10 000 m³/a immer zu erfolgen (§ 60a Nr. 4 NNATG).

Wasserrechtsanträge mit den zur Beurteilung des gesamten Vorhabens erforderlichen Unterlagen (Zeichnungen, Nachweise und Beschreibungen) sind bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde einzureichen.

Erlaubnis- und Bewilligungsanträge müssen inhaltlich so ausführlich dargestellt sein, dass Dritte beurteilen können, ob und in welchem Umfang sie von den Auswirkungen der Benutzung betroffen werden können. Dazu sind die hydrogeologischen Verhältnisse zu ermitteln und Angaben über das Einzugsgebiet sowie das Ausmaß und die Reichweite von Grundwasserabsenkungen vorzulegen. Wenn Grundwasserabsenkungen Änderungen im Bodenwasserhaushalt verursachen können, sind zusätzlich bodenkundliche Untersuchungen erforderlich.

Falls eine flächenhaft differenzierte Regelung zur fachlichen Beurteilung einer Ertragsminderung seitens der Land- und Forstwirtschaft an-

gestrebt wird, ist ein bodenkundliches Gutachten zu erstellen.

Für die bodenkundlichen Belange ist i. d. R. die Ermittlung der für die land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung relevanten maximal möglichen Reichweite der Absenkung maßgebend (s. Kap. 5). Bei der Bewertung der Auswirkungen der Grundwasserentnahme auf land- und forstwirtschaftlich genutzte Böden ist die Situation vor Förderbeginn (Nullzustand/ohne Entnahme) gegenüber dem Istzustand bzw. Prognosezustand darzustellen (vgl. NMU 2004, 2009 sowie Geofakten 1 (JOSOPAIT, RAISSI & ECKL 2009) und Geofakten 19 (RAISSI et al. 2009)). Für die Belange des Naturschutzes ist der Vergleich Istzustand zu Prognosezustand maßgeblich (s. Abb. 4). Null-, Ist- und Prognosezustand sind im Kapitel 4.2 näher erläutert.

Für den Beispielfall einer Entnahme von Grundwasser für die öffentliche Trinkwasserversorgung sollten in den Unterlagen eines Antrages folgende Angaben enthalten sein:

- Erläuterungsbericht:
Vorhabensbeschreibung, Art, Umfang und Zweck der Entnahme, Entnahmemenge in m³ (täglich, monatlich, jährlich), Verbleib des nicht verbrauchten Wassers,
- Begründung des Wasserbedarfs:
Wasserbedarfsnachweis, Notwendigkeit der Grundwasserentnahme, bestehende andere Bezugsquellen,
- Lagepläne:
Förderbrunnen, Messstellen, betroffene Grundstücke, Gewässer, Gemeinden, Grenzen unter Schutz gestellter Gebiete,
- Eigentümerverzeichnis der Brunnen- und Wasserwerksgrundstücke:
Katasterangaben, Anschriften, Grundbucheinträge,
- Ausbaupläne, Schichtenverzeichnisse nach Vorgaben des LBEG (s. Kap. 6),
- Roh- und Reinwasseranalysen nach Trinkwasserverordnung (TRINKWV 2001) und den zugehörigen niedersächsischen Ausführungsbestimmungen in der jeweils gültigen Fassung,
- Fachgutachten Hydrogeologie (s. Kap. 4); gegebenenfalls Fachgutachten zu Bodenkunde (s. Kap. 5), Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Baugrund, Naturschutz,
- Konzept zur Beweisführung:
Vorschläge für einen Durchführungsplan

für die zukünftigen Beweissicherungen in RAISSI et al. (2009, Geofakten 19).

- Bereits im Rahmen des Wasserrechtsverfahrens:
Nachweis der Nutzbarkeit zur Trinkwasserversorgung und als Vorbereitung auf eine spätere Wasserschutzgebietsfestsetzung durch den Nachweis von
 - Schutzbedürftigkeit:
Sie liegt vor, wenn ohne Schutzanordnungen eine Wahrscheinlichkeit dafür besteht, dass das Grundwasser hygienisch oder geschmacklich in seiner Eignung für Trinkwasserzwecke beeinträchtigt würde. Eine solche Wahrscheinlichkeit ist meist durch eine Vielzahl von Gefährdungspotenzialen gegeben. Als Nachweis sind die Nutzungen und Gefährdungspotenziale zu beschreiben, denen mit Schutzanordnungen zu begegnen ist.
 - Schutzwürdigkeit:
Sie ist dann gegeben, wenn das Wasser aufgrund der Nutzungen für die Trinkwassergewinnung geeignet ist und wenn das Wasservorkommen wegen seiner Bedeutung (Güte, Menge) für die öffentliche Wasserversorgung daher eines Schutzes bedarf. Dafür ist zu prüfen, ob Nutzungen, aber auch geologische Gründe die Nutzung des Wassers beeinträchtigen.
 - Schutzfähigkeit:
Sie liegt vor, wenn mit Schutzvorkehrungen ohne unverhältnismäßige Beeinträchtigungen Gefährdungspotenziale gemindert werden können. Die dabei vorzunehmende Prüfung und Abwägung zwischen den im öffentlichen Interesse liegenden Schutzvorkehrungen und den davon beeinträchtigten öffentlichen und privaten Belangen erfolgt im Rahmen des Wasserschutzgebietsverfahrens. Bei der Prüfung ist mit einzubeziehen, ob der Wasserbedarf auch auf andere Weise gedeckt werden kann.

Der Umfang der Antragsunterlagen, die Anforderungen an die Fachgutachten sowie der Tiefgang der gutachterlichen Bearbeitung richten sich nach der wasserwirtschaftlichen, land- und forstwirtschaftlichen sowie naturschutzfachlichen Relevanz der geplanten Grundwasserentnahme, nach dem Ausmaß möglicher

Beeinträchtigungen anderer Nutzungen, der öffentlichen Bedeutung einer Grundwasserentnahme (z. B. Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser), der Rechtsform des Zulassungsverfahrens (Erlaubnis, gehobene Erlaubnis oder Bewilligung) und nicht zuletzt nach den hydrogeologischen und bodenkundlichen Standortbedingungen. Einen Überblick über die räumliche Gliederung Niedersachsens nach hydrogeologischen und bodenkundlichen Gesichtspunkten gibt Kapitel 10 (Anhang).

Vor Antragstellung empfiehlt es sich daher, mit der Unteren Wasserbehörde als Genehmigungsbehörde Kontakt aufzunehmen und sich im Hinblick auf den notwendigen Umfang der Antragsunterlagen im konkreten Fall beraten zu lassen. Bei bedeutenden Entnahmen mit möglicherweise großem Konfliktpotenzial wird die Genehmigungsbehörde im Rahmen eines Beratungsgesprächs gemeinsam mit dem Antragsteller und anderen Verfahrensbeteiligten, wie z. B. Fachbehörden, in Abhängigkeit von der jeweiligen Antrags- und Standortsituation die genauen Anforderungen an die Antragsunterlagen und die Fachgutachten festlegen sowie den zeitlichen Ablauf des Verfahrens abstimmen.

Einen Überblick über den generellen Ablauf eines Wasserrechtsverfahrens, insbesondere unter Berücksichtigung der fachbehördlichen Beteiligung, gibt Abbildung 1.

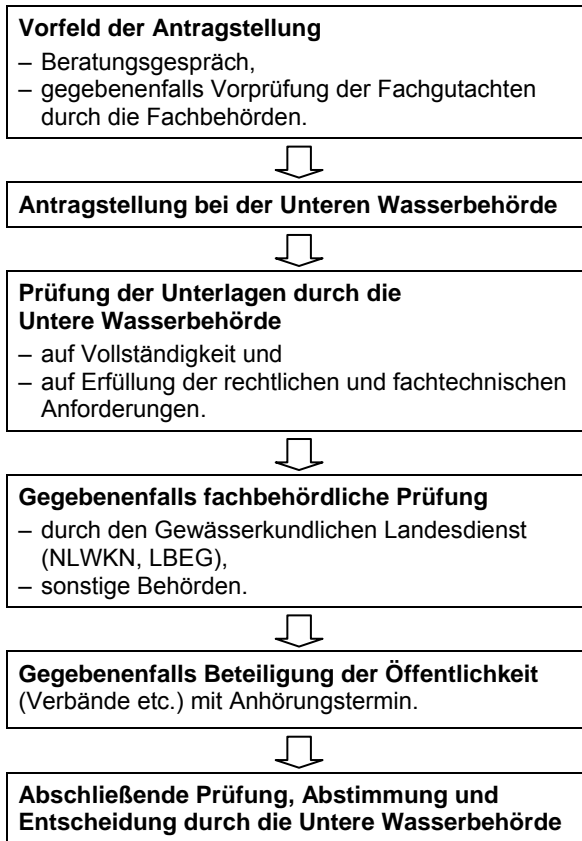


Abb. 1: Genereller Ablauf eines wasserrechtlichen Verfahrens, insbesondere mit Blick auf die fachbehördliche Beteiligung.

4 Hydrogeologisches Gutachten

4.1 Generelle Hinweise und Anforderungen

Eine Beteiligung des LBEG bei Wasserrechtsverfahren ist nur in bestimmten Fällen vorgesehen. So kann die Untere Wasserbehörde das LBEG als Teil des Gewässerkundlichen Landesdienstes über den NLWKN als koordinierende Dienststelle bei Wasserrechtsverfahren beteiligen (NMU 2008),

- bei Entnahmemengen größer als 250 000 m³/a in Lockergesteinen oder größer als 100 000 m³/a in Festgesteinen (als Einzelentnahme oder als Summe vieler kleiner Einzelentnahmen im Bilanzgebiet, z. B. bei der Feldberechnung),
- wenn vertiefte hydrogeologische oder geowissenschaftliche Kenntnisse erforderlich sind.

Der Leitfaden ist daher in erster Linie auf diese aus fachlicher Sicht anspruchsvolleren Wasserrechtsverfahren anzuwenden. Meist handelt es sich um Anträge zur Entnahme von Grundwasser für die öffentliche Wasserversorgung. Im Falle einer Beteiligung des LBEG ist dem Wasserrechtsantrag ein hydrogeologisches Gutachten mit einer Prognose der Auswirkungen der beabsichtigten Entnahme auf den Grundwasserstand, die Grundwasserbeschaffenheit und den Grundwasserhaushalt beizufügen.

Dabei sind insbesondere darzulegen:

- Ausmaß und Reichweite der entnahmebedingten Grundwasserabsenkung (DIN 4049-3 (DIN 1994)),
- das unterirdische Einzugsgebiet der Fassungsanlage bei beantragter Grundwasserentnahme und
- Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Grundwasserbeschaffenheit.

Das hydrogeologische Gutachten stellt die Grundlage zur Abschätzung von Auswirkungen der beabsichtigten Entnahme auf Wasserhaushalt, Ökologie und Nutzungen dar. Wie erwähnt, werden die genauen Anforderungen unter Berücksichtigung der konkreten Antrags-

situation und der jeweiligen Standortverhältnisse im Vorfeld der Beantragung in der Regel zwischen der Unteren Wasserbehörde, den Fachbehörden, dem Antragsteller und seinem Fachgutachter sowie anderen Betroffenen (Verbände etc.) abgestimmt und festgelegt.

Bei Wasserrechtsverfahren, die ohne Beteiligung des LBEG durchgeführt werden, kann der Leitfaden bei der Festlegung der erforderlichen Unterlagen und Angaben für den individuellen Antrag als Entscheidungshilfe nützlich sein. In Abhängigkeit von der Größe der Entnahme, den örtlichen Entnahmedingungen, den zu erwartenden Auswirkungen, vom beantragten Recht (Erlaubnis mit relativ einfacher Widerrufsmöglichkeit oder Bewilligung mit langfristige erteilten rechtlich wirksam abgesicherten Entnahmerechten) wird der Untersuchungs- und Unterlagenumfang sowie die erforderliche Aussagesicherheit und damit der Tiefgang der Bearbeitung im Rahmen der Antragsberatung festgelegt. Aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren ist die Realisierung von fest umrissenen Anforderungsprofilen für die Vielzahl möglicher Szenarien nicht möglich. Jedoch sollte aus den Antragsunterlagen auch bei einer Reduzierung des Anforderungskatalogs, etwa bei geringen Entnahmen, immer hervorgehen, welche Auswirkungen zu erwarten sind und welche Nutzungen eventuell betroffen sind.

Was Anträge mit sehr geringen Entnahmen (etwa kleiner als 50 000 m³/a in Lockergesteinen und etwa kleiner als 30 000 m³/a in Festgesteinen) anbelangt, so können die fachlichen Anforderungen in diesen Fällen stark reduziert werden. Für eine fachliche Einschätzung des Vorhabens sind jedoch Mindestangaben erforderlich, wie z. B.:

- Antragsmenge,
- Lage des Brunnens,
- Schichtenverzeichnis (einschließlich eventuell vorhandener geophysikalischer Bohrlochmessungen),
- Ausbaudaten des Brunnens (Tiefe, Verfilterung, Bohr- und Ausbaudurchmesser, Wassersperren etc.),
- Messungen des Ruhe- und Betriebswasserspiegels (gegebenenfalls Pumpversuchsergebnisse) und
- Darstellung des Einzugsgebietes.

Pauschale Angaben zur generellen Grundwasserfließrichtung und zur Größe und Ausdehnung des für die beantragte Entnahmemenge erforderlichen Neubildungsgebietes reichen meist aus.

Häufig handelt es sich bei den kleineren Antragsmengen um Grundwasserentnahmen für die Feldberegnung. Die Brunnendichte kann dabei in einzelnen Beregnungsgebieten sehr hoch werden und aufgrund der Summenwirkung unter Umständen zu einer starken Beanspruchung des genutzten Grundwasservorkommens führen. In derartigen Fällen sind die Auswirkungen in ihrer Gesamtheit darzulegen. Dazu ist ein umfassender Antrag einschließlich eines Fachgutachtens, z. B. von einem Beregnungsverband oder einem Verbund von Betreibern von Feldberegnungsbrunnen, zu erstellen (s. Kap. 4.5).

Grundwasserentnahmen der Landwirtschaft, Brauchwasserentnahmen der Industrie oder Entnahmen für die private Trinkwasserversorgung oder auch für die Verwendung als Mineralwasser sind nach dem NWG den Entnahmen für die öffentliche Trinkwasserversorgung gleichgestellt. Das heißt, dass auch die Anforderungen an die Antragsunterlagen und die Fachgutachten prinzipiell gleich sind. Im Gegensatz zu den Trinkwassergewinnungsanlagen handelt es sich jedoch dabei, wie z. B. bei Feldberegnungsbrunnen, häufig um Erlaubnis-anträge mit der Möglichkeit eines Widerrufs durch die Wasserbehörden, falls sich später nachteilige Auswirkungen zeigen sollten. Weiterhin sind die beantragten Entnahmen in diesen Fällen meist gering und das beeinflusste

Gebiet demgemäß klein. Daher sind die fachlichen Ansprüche an diese Wasserrechtsanträge im Allgemeinen geringer, als bei Anträgen zur Grundwasserentnahme für die öffentliche Trinkwasserversorgung. So kann es ausreichend sein, z. B. mittels einfacher analytischer Berechnungsmethoden ohne aufwändige numerische Modellrechnungen die Einzugsgebietsgrenzen und die Reichweite sowie den Betrag der Grundwasserabsenkung näherungsweise zu ermitteln (s. Kap. 4.3 und 4.4). In diesem Zusammenhang möchten wir darauf hinweisen, dass das Antragskonzept und die geplante Umsetzung mit der Unteren Wasserbehörde abgesprochen werden sollten.

4.2 Hinweise für Aufbau und Inhalt eines hydrogeologischen Gutachtens

Um die beschriebenen Anforderungen und Zielsetzungen zu erreichen, sollte ein hydrogeologisches Gutachten für einen Wasserrechtsantrag entsprechende Ausführungen und Darstellungen enthalten (s. Tab. 1). Die hier vorgelegten Hinweise für eine Gliederung orientieren sich an Erfahrungen bei Grundwasserentnahmen aus Lockergesteinen in Niedersachsen. Sie gelten im Grundsatz auch für Entnahmen aus Festgesteinen. Wegen der unterschiedlichen geologischen und hydrogeologischen Voraussetzungen und aus Gründen der Verhältnismäßigkeit sind dort jedoch z. T. andere oder nur ein Teil der hier genannten Arbeits- und Darstellungsmethoden einsetzbar.

Tab. 1: Hinweise zum Inhalt des hydrogeologischen Gutachtens (JOSOPAIT 1996).

<p>1. Allgemeine Angaben Entnahmebrunnen, Grundwassermessstellen, bisherige Entnahmen, derzeitiges und beantragtes Wasserrecht, andere Grundwassernutzer, Datenbasis u. a., dazu: Lagepläne, Ausbaupläne.</p>
<p>2. Hydrologische, morphologische, klimatische und geologische Verhältnisse Gewässernetz, Wasserscheiden, Niederschlag, Verdunstung, geologische Karte und Schnitte, Bohrungen.</p>
<p>3. Hydrogeologischer Aufbau Angaben über Grundwasserleiter, Grundwassergeringleiter, Grundwasserüberdeckung, Grundwassersohle, Grundwasserstockwerke; insbesondere Beschreibung von Ausbildung, Mächtigkeit, Durchlässigkeit, Transmissivität usw., dazu: Verbreitungs- und Mächtigkeitskarten, Schnitte.</p>
<p>4. Grundwasserstand und Grundwasserbewegung in den relevanten Stockwerken, Prognose der entnahmebedingten Veränderungen Erläuterungen und Darstellungen zu Grundwasserstandsdaten, Grundwasserganglinien, Grundwasserflurabstand, Grundwassergleichenplänen für den Nullzustand (ohne Entnahme) und für den Istzustand (bei wirksamer tatsächlicher Entnahme) sowie für den Prognosezustand (bei beantragter Entnahme; dafür sind eventuell Pumpversuche oder Modellrechnungen erforderlich), Ausmaß und Reichweite der entnahmebedingten Grundwasserabsenkungen (flächenhafte Darstellung, s. Abb. 2 und 3), Abgrenzung des Einzugsgebietes aus dem Grundwassergleichenplan für den Prognosezustand (s. Abb. 2).</p>
<p>5. Grundwasserbeschaffenheit und mögliche Änderungen durch die Grundwasserentnahme insbesondere Anstieg des Nitratgehaltes, Gefahr von Versalzung, Einfluss von Altlasten.</p>
<p>6. Grundwasserhaushalt und entnahmebedingte Veränderungen Grundwasserneubildung, Abfluss in Vorfluter, Infiltration aus oberirdischen Gewässern, Entnahme durch andere Nutzer usw.; Grundwasserdargebot; grundwasserabhängige Landökosysteme.</p>
<p>7. Zusammenfassende Bewertung möglicher Entnahmeauswirkungen mit Empfehlungen für Gutachten und Stellungnahmen anderer Fachbereiche.</p>
<p>8. Konzept für die Grundwasserbeweissicherung Entnahmen, Grundwasserstände, Messturnus, chemische Untersuchungen, Vorfeldmessstellen, Auswertung in Ganglinien, Grundwassergleichenplänen, Differenzenplänen (s. Abb. 3); das Messnetz muss die Darstellung der jeweiligen Absenkungsbereiche und Einzugsgebiete ermöglichen.</p>

Im hydrogeologischen Gutachten sollten zunächst allgemeine Angaben über Entnahmen, Wasserrechte und die Datenbasis vorgelegt werden (Tab. 1, Punkt 1). Weiterhin sind Angaben über die Gewässer, das Gelände, das Klima und die Geologie erforderlich (Tab. 1, Punkt 2). Die Grundwasserverhältnisse sind ausführlich darzustellen. Der hydrogeologische Aufbau und charakteristische Kennwerte sind zu erläutern und entsprechende Karten und Schnitte beizufügen (Tab. 1, Punkt 3).

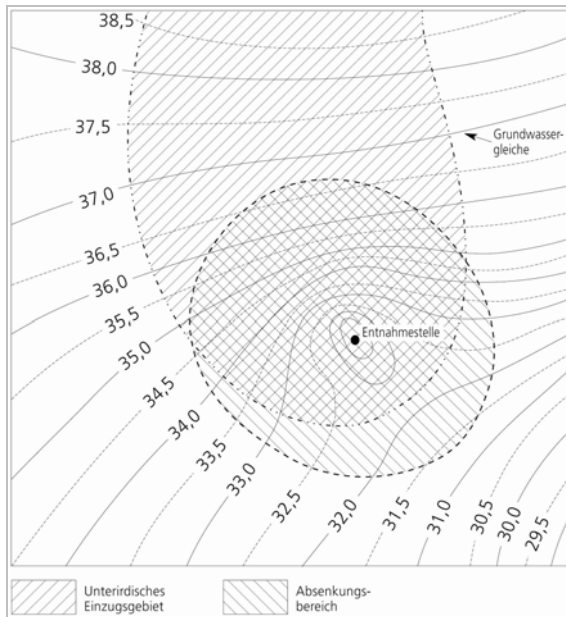


Abb. 2: Absenkungsbereich und Einzugsgebiet nach DIN 4049-3 (DIN 1994).

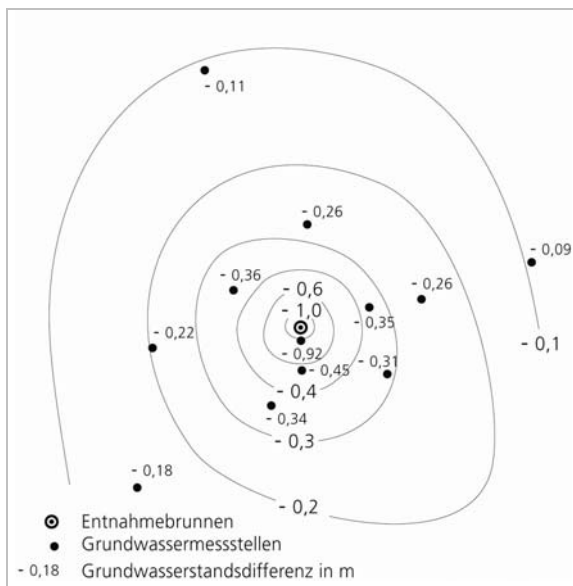


Abb. 3: Entnahmebedingte Grundwasserabsenkung (Grundwasserstandsdifferenzen) (JOSOPAIT, RAISSI & ECKL 2009).

Im folgenden Teil (Tab. 1, Punkt 4) sind die wichtigen Angaben über den Grundwasserstand, die Grundwasserbewegung sowie ihre voraussichtlichen Veränderungen darzulegen. Hierzu sind Informationen über die langfristigen Schwankungen des Grundwasserstandes

(Standrohrspiegelhöhen), z. B. in Form von Ganglinien, sowie eine flächenhafte Darstellung des Grundwasserflurabstands (für das erste Stockwerk) erforderlich. Grundwassergleichenpläne sollten für die relevanten Grundwasserstockwerke, also in der Regel für das Entnahmestockwerk und eventuell vorhandene höhere Stockwerke vorgelegt werden. Dabei sind Pläne erforderlich für den

- **Nullzustand:**
Unter dem Nullzustand ist zu verstehen:
 - im Falle einer Erstentnahme von Grundwasser der Grundwasserstand vor Beginn der Entnahme,
 - im Falle einer unveränderten Fortsetzung, Erhöhung oder Erniedrigung einer bestehenden Grundwasserentnahme der Grundwasserstand, der sich einstellen würde, wenn die Grundwasserentnahme eingestellt werden würde. Der Nullzustand beschreibt daher grundsätzlich den Grundwasserstand ohne die beantragte Grundwasserentnahme. Häufig sind hier jedoch keine ausreichenden Daten zu den Grundwasserständen vor Beginn der Förderung vorhanden. In solchen Fällen kann der Nullzustand z. B. über Modellrechnungen ermittelt werden. Der Nullzustand wurde in der Vergangenheit auch als Ruhezustand oder als Ruhespiegel bezeichnet.
- **Prognosezustand:**
Der Prognosezustand beschreibt den erwarteten Grundwasserstand bei der beantragten Grundwasserentnahmemenge. Der Prognosezustand wurde in der Vergangenheit auch als Sollzustand oder Betriebsspiegel bei beantragter Entnahme bezeichnet.
- **Istzustand:**
Der Istzustand beschreibt den Grundwasserstand bei wirksamer tatsächlicher Grundwasserentnahmemenge, z. B. entsprechend dem arithmetischen Mittel der tatsächlichen Entnahmemengen in den letzten zehn Jahren. Im Falle einer Fortsetzung der Rechte mit gleicher, höherer oder niedrigerer Entnahmemenge ist immer der Istzustand im Vergleich zum Nullzustand und zum Prognosezustand zu ermitteln und zu bewerten (s. Abb. 4).

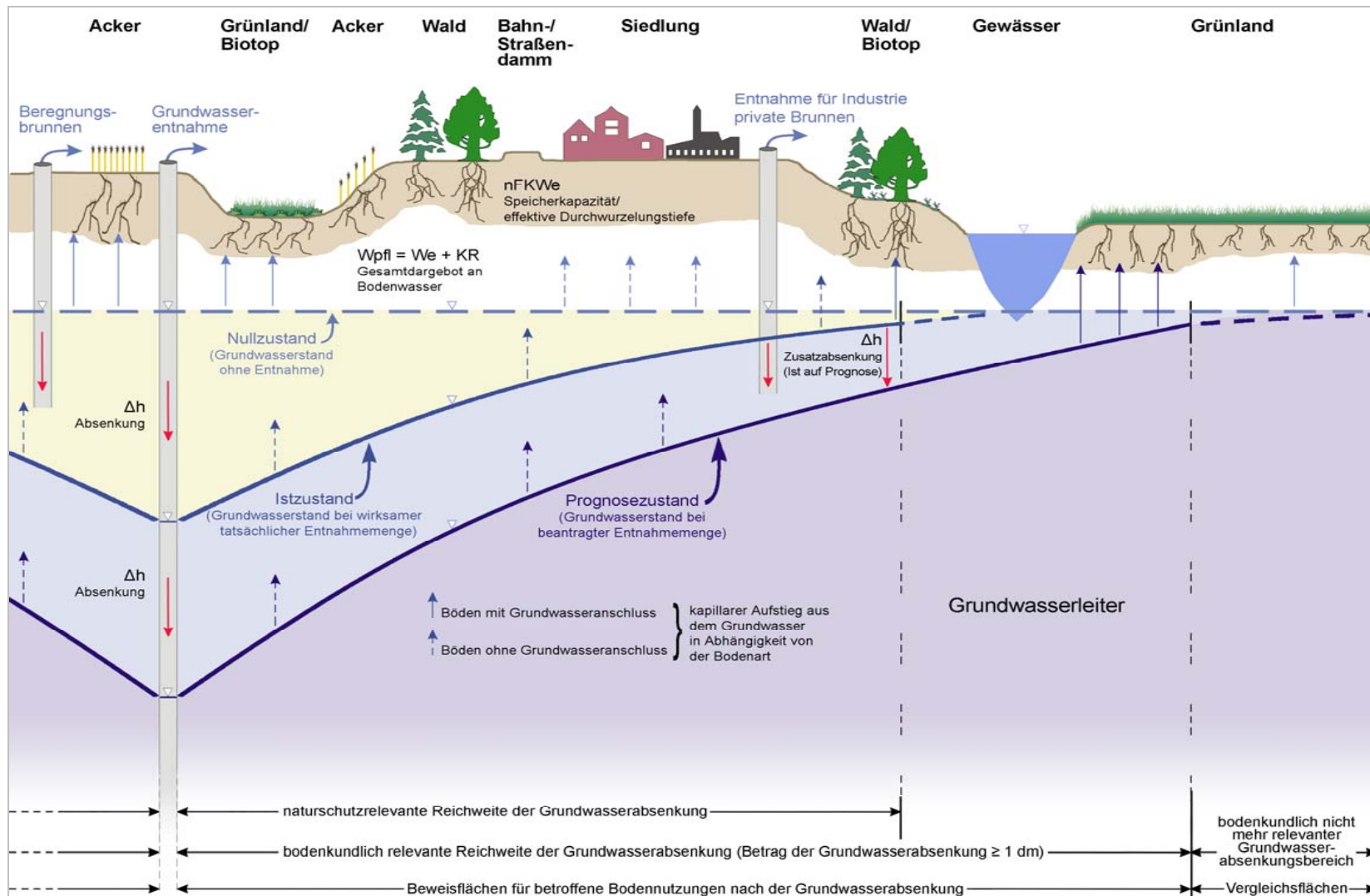


Abb. 4: Schematische Darstellung der Auswirkungen einer Grundwasserentnahme: Betrag und Reichweite der Absenkung – Nullzustand, Istzustand und Prognosezustand (Entwurf: F. Raissi).

Der Grundwassergleichenplan für den Prognosezustand ist die Grundlage für die Abgrenzung des Einzugsgebietes (Abb. 2). Dabei werden nicht die gleichen Anforderungen an die Genauigkeit der Abgrenzung zu stellen sein, wie an die Einzugsgebietsabgrenzung im Rahmen eines Schutzgebietsgutachtens, das die Grundlage für eine parzellenscharfe Begrenzung der Schutzzonen darstellt (s. Kap. 4.6). Da häufig im Anschluss an das Wasserrechtsverfahren auch ein Wasserschutzgebiet festzusetzen ist, bietet es sich jedoch vielfach an, die Abgrenzung bereits beim Wasserrechtsantrag in einer angemessen genauen Form vorzulegen. Auf jeden Fall sollte die Form und Größe des Einzugsgebietes im Grundsatz dargestellt werden. Ob das in dieser Weise abgegrenzte Einzugsgebiet eine ausreichende Grundlage für einen Festsetzungsvorschlag darstellt, ist in jedem Fall im anschließenden Wasserschutzgebietsverfahren zu überprüfen. So kann es in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen erforderlich werden, weitere schutzbedürftige Flächen in das Wasserschutzgebiet einzubeziehen, z. B. wenn die Lage der Grenzstromlinie etwa in Abhängigkeit von der klimatischen Situation (z. B. bei stärker schwankenden Grund- oder Vorflutwasserständen) und aufgrund anderer Einflüsse, wie etwa bei stark wechselnden Aquifereigenschaften, deutlich variiert und daher die Umhüllende von häufig auftretenden Einzugsgebietsvarianten als Schutzgebietsbegrenzung festzusetzen ist oder wenn zur Erreichung des Schutzzweckes die Einbeziehung von Flächen in das Schutzgebiet erforderlich ist, die oberirdisch in das hydraulisch ermittelte Einzugsgebiet entwässern. Ein abschließender Abgrenzungs- und Bemessungsvorschlag für ein Wasserschutzgebiet ist daher in der Regel erst möglich, wenn die zusätzlichen Kriterien, die bei der Wasserschutzgebietsabgrenzung im Vergleich zur Ermittlung des Einzugsgebietes bei Wasserrechtsverfahren zu bewerten sind, im notwendigen Umfang Berücksichtigung fanden. Mit Hilfe der im Wasserrechtsverfahren gewonnenen Erkenntnisse sollte zumindest aber erkennbar sein, ob das für das vorherige Wasserrecht festgesetzte Wasserschutzgebiet bestehen bleiben kann oder eine Neufestsetzung mit geänderten Grenzen erforderlich ist.

Aus der Differenz der Grundwasserstände für den Null- und Prognosezustand ergeben sich Ausmaß und Reichweite der durch die Entnahme bedingten Absenkungen. Die Linien

gleicher Absenkungsbeträge (Abb. 3) für die relevanten Grundwasserstockwerke bilden als flächenhafte Darstellungen die Grundlage für die Abschätzung weiterer entnahmebedingter Auswirkungen. Dabei sind zwei Ausgangssituationen zu unterscheiden (vgl. Tab. 2). Bei einem Erstantrag, also einem erstmaligen Wasserrechtsantrag in einem bisher nicht für die Grundwasserentnahme genutzten Gebiet, ist die Ermittlung des Absenkungsbereichs oft einfacher, als bei einem Folgeantrag, bei dem ein zeitlich befristetes, abgelaufenes Recht erneut beantragt oder durch ein Recht mit anderer Entnahme ersetzt werden soll.

Beim Erstantrag (Tab. 2) ergibt sich der Grundwasserspiegelplan für den Nullzustand aus Wasserstandsdaten, die an einem Grundwasserstandsmessnetz mit der fachlich erforderlichen Belegdichte erhoben wurden. Die Lage des Grundwasserspiegels bei Förderung mit der beantragten Menge kann durch einen Pumpversuch (DVGW 1997: Arbeitsblatt W 111) oder durch ein Grundwassermodell (s. Kap. 4.3) ermittelt werden. Bei komplizierten Verhältnissen ist gegebenenfalls ein Langzeitpumpversuch z. T. über mehrere Jahre durchzuführen, wenn z. B. die Grundwasserabsenkung in einem oberen Stockwerk erst verzögert zu erwarten ist oder andere Auswirkungen, z. B. auf Vorfluter oder die Vegetation, sich erst nach längerer Zeit beurteilen lassen. Insbesondere bei Langzeitpumpversuchen ist zu beachten, dass die entnahmebedingten Auswirkungen vor Beginn des Langzeitpumpversuchs fachlich geprüft und beurteilt werden. Dieser Dauerpumpversuch kann durch eine befristete Zulassung des vorzeitigen Beginns (§ 18 NWG) abgesichert werden.

Ein Folgeantrag (Tab. 2) wird in der Regel wasserrechtlich als Neuantrag gewertet, wenn das bisherige, befristete Recht abgelaufen ist, d. h. es erfolgt keine einfache Verlängerung eines Wasserrechts (s. NMU 2004, 2009). Darzulegen sind die Auswirkungen, die durch die Entnahme entstehen, gegenüber einem Zustand ohne Entnahme. Dieses ist nicht unbedingt der Zustand, der vor Inbetriebnahme des Entnahmebrunnens vorlag, sondern der Zustand, der sich ergäbe, wenn der Brunnen jetzt bzw. nach Ablauf des Wasserrechts abgestellt würde. Es können nämlich seit der Inbetriebnahme des Brunnens auch anders bedingte Veränderungen der Wasserstände eingetreten sein (z. B. durch Vorfluterausbau, Entwässerung), die nicht auf die Grundwasserentnahme

zurückzuführen sind. Bisweilen wird aber auch gefordert, den durch eine langfristige Entnahme bereits eingetretenen Zustand zugrunde zu legen und demgegenüber nur die zusätzlichen Auswirkungen durch die zukünftige Mehrentnahme zu betrachten. Das kann z. B. für den Naturschutz berechtigt sein, wenn sich die Natur bereits auf die Auswirkungen einer lange andauernden Wasserentnahme eingestellt hat, aber auch, wenn die Erhöhung eines bestehenden, nicht abgelaufenen Rechtes beantragt wird. Für private Einwander ist die Gesamtabenkung entscheidend, d. h. die Absenkung, bezogen auf den Nullzustand (vgl. NMU 2004, 2009). Für deren geltend gemachten Ansprüche können auf die Ergebnisse des Beweissicherungsverfahrens zurückgegriffen werden. Die Ermittlung der Grundwasserstände für den Nullzustand (ohne Entnahme) ist bei einem Folgeantrag häufig schwierig, da alte Grundwasserdaten (vor Inbetriebnahme der Brunnen) bei älteren Wasserwerken in aller Regel nicht vorliegen oder nicht ausreichen, um daraus den entsprechenden Spiegelplan zu konstruieren. Es ist auch zu überprüfen, ob Angaben über den früheren Grundwasserspiegel ohne Entnahme den heutigen Nullzustand repräsentieren. Ein längerfristiges Abschalten der Brunnen (gegebenenfalls nach Verdichtung des Grundwassermessnetzes) erbringt die benötigten Angaben. Bei einem laufenden Wasserwerk ohne Ausgleichsmöglichkeiten treten jedoch versorgungstechnische Schwierigkeiten auf. Eine weitere Methode ist eine Modellrech-

nung, die mit im langfristigen Betrieb gewonnenen Daten kalibriert wird.

Für einen Folgeantrag kann der benötigte Betriebsspiegelplan durch Messung bei laufender Entnahme nur dann ermittelt werden, wenn die beantragte Menge bereits entnommen wird und ein ausreichendes Grundwasserstandsmessnetz vorhanden ist. Weiterhin ist es möglich, einen Pumpversuch mit der beantragten Entnahme durchzuführen, oder auch mit unterschiedlichen Entnahmestufen, wenn die Entscheidung über die zu genehmigende Entnahme noch offen ist. Weitere Möglichkeiten bestehen wieder darin, Modellrechnungen vorzunehmen oder einen Langzeitpumpversuch durchzuführen und auszuwerten (s. Tab. 2). Auch hier ist zu beachten, dass die entnahmebedingten Auswirkungen vor Beginn des Langzeitpumpversuchs fachlich geprüft und beurteilt werden.

Es ist zu beachten, dass zwischen den Messungen des Grundwasserspiegels beim Nullzustand und bei Förderung mit der beantragten Menge auch Veränderungen der Grundwasserstände auftreten können, die nicht entnahmebedingt sind. Diese können z. B. auf klimatische Ursachen (also Niederschlags- oder Verdunstungsänderungen) oder auf andere anthropogene Eingriffe zurückzuführen sein. Solche Einwirkungen können durch die Auswertung von Messdaten repräsentativer unbeflusster Referenzmessstellen erkannt und berücksichtigt werden.

Tab. 2: Schema zur Ermittlung der Grundwasserstände für den Null- und Prognosezustand (JOSOPAIT 1996).

	Ruhespiegeldaten (ohne Entnahme)	Betriebsspiegeldaten (beantragte Entnahme)
Erstantrag	Grundwassermessdaten	Pumpversuch
		Grundwassermodell
		Dauerpumpversuch (vorzeitiger Beginn)
Folgeantrag	alte Grundwasserdaten	Messung bei Entnahme
	Abschalten der Brunnen	Pumpversuch
	Grundwassermodell	Grundwassermodell
		Dauerpumpversuch (vorzeitiger Beginn)

Ein weiterer Teil des hydrogeologischen Gutachtens sollte die Grundwasserbeschaffenheit und ihre möglichen Veränderungen beschreiben (Tab. 1, Punkt 5). Dabei sind z. B. mögliche Risiken einer Versalzung, einer Zunahme des Nitratgehalts oder einer Beeinflussung durch Schadstoffe aus Deponien oder Altlasten in der Beurteilung zu berücksichtigen. Die Angaben zum Grundwasserhaushalt (Tab. 1, Punkt 6) sind in erster Linie auf das Einzugsgebiet zu beziehen. Die Grundwasserneubildung kann z. B. flächendifferenziert ermittelt werden (GROWA: KUNKEL & WENDLAND 1998, MÜLLER 2004, DÖRHÖFER & JOSOPAIT 1980).

Es ist nachzuweisen, dass durch die Grundwasserregeneration und andere Zuflüsse ein ausreichendes Grundwasserdargebot zur Verfügung steht und inwieweit z. B. Oberflächengewässer, grundwasserabhängige Ökosysteme oder andere Grundwassernutzer durch die Entnahme beeinträchtigt werden.

Die entnahmebedingten Veränderungen der Grundwasserverhältnisse sind zusammenfassend aufzuführen und zu bewerten (Tab. 1, Punkt 7). Dabei ist auch anzugeben, welche anderen Fachbereiche (z. B. Bodenkunde, Vegetationskunde) gegebenenfalls beteiligt werden sollten, um die Auswirkungen der Grundwasserentnahme auf andere Nutzer, Natur und Landschaft in den hydrogeologisch ermittelten potenziellen Einflussbereichen weiter zu untersuchen und darzulegen. Schließlich sollte ein Konzept für die Grundwasserbeweissicherung vorgelegt werden (Tab. 1, Punkt 8, vgl. Kap. 7 und RAISSI et al. 2009). Dieses soll u. a. darlegen, welche Messungen von Wasserständen oder Entnahmen und welche Wasseranalysen wo und mit welcher Häufigkeit durchzuführen und wie die Ergebnisse auszuwerten und darzustellen sind. Insbesondere wird es dabei um die Angabe der jeweils aktuellen Absenkungsbereiche und Einzugsgebiete sowie der eventuell erforderlichen Maßnahmen gehen.

Besonders bei komplizierten hydrogeologischen Verhältnissen (z. B. bei Grundwasserstockwerksbau), der Beurteilung von Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer oder auch für die Bilanzierung und Bewirtschaftung von Grundwasservorkommen werden bevorzugt Grundwasserströmungsmodelle eingesetzt (s. Kap. 4.3).

Die z. B. mit Hilfe eines Grundwasserströmungsmodells ermittelten Prognosewerte sind durch Messungen (z. B. Grundwasserstände)

im Rahmen von Beweissicherungsmaßnahmen zu bestätigen (s. Kap. 7).

Falls bei einem Folgeantrag geringere Fördermengen als bisher beantragt wurden oder die Entnahme eingestellt wird, steigen die Grundwasserstände im ehemaligen Absenkungsbereich wieder an. Der Grundwasserspiegelanstieg kann zu Schäden z. B. an Gebäuden führen. Auch wenn sich daraus keine Entschädigungsansprüche ableiten lassen, sollte der Grundwasserspiegel für den Nullzustand bei der Planung von Gebäuden und infrastrukturellen Einrichtungen zur Vermeidung von Grundwasserschäden beachtet werden. Die fachlichen Zusammenhänge sind im Kap. 7.4 näher erläutert.

4.3 Abgrenzung von Einzugs- und Absenkungsgebieten im Lockergestein

Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet ist als das Gebiet definiert, aus dem Grundwasser einem bestimmten Ort, z. B. Entnahmefröhen oder Quellen, zuströmt. Die Begrenzung ist durch geologische, hydrogeologische und anthropogene Einflussgrößen, z. B. benachbarte Entnahmen, bestimmt. In der Regel sind die Begrenzungen zeitlich veränderlich. Die Ermittlung des Einzugsgebietes dient verschiedenen Zwecken, wie z. B. der

- Prüfung/Bewertung der langfristigen Verfügbarkeit der beantragten Grundwassermenge im Bilanzraum,
- Prüfung/Bewertung der Auswirkungen der beantragten Entnahme auf andere Grundwassernutzungen, Gewässer etc.,
- Prüfung/Bewertung der Auswirkungen von Nutzungen, Maßnahmen und Vorhaben auf die beantragte Entnahme.

Eine wesentliche Grundlage für die Ermittlung der Einzugsgebiete bilden Grundwassergleichpläne. Bei einer Förderung, die annähernd der wasserrechtlich genehmigten Jahresentnahme entspricht, lässt sich das Einzugsgebiet einer Wasserfassungsanlage direkt aus dem Grundwassergleichplan angemessen genau abgrenzen. Die für seine Konstruktion erforderlichen Grundwasserstandsdaten lassen sich in

Lockergesteinen meist mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand gewinnen, wobei die einzelnen Messwerte zumeist auch eindeutig zu interpretieren und in einen schlüssigen Grundwassergleichenplan umzusetzen sind. Bei sehr inhomogen aufgebauten Grundwasserleitern, wie sie z. B. im Bereich glazialer Stauchzonen typisch sind, liefern Grundwassergleichenpläne auch bei einem höheren Erkundungsaufwand häufig kein eindeutiges Bild der wahren Grundwasserströmungsverhältnisse. Dies trifft auch auf Gebiete zu, in denen vertikale Strömungskomponenten überwiegen (Bereich von Grundwasserscheiden und Vorflutern) und die Grundwassermessstellen in unterschiedlichen Tiefen verfiltert sind.

Das Einzugsgebiet ist für mittlere Entnahmemengen und mittlere jährliche Grundwasserneubildungsraten zu ermitteln. Für die Abgrenzung des Einzugsgebietes ist daher die wasserrechtlich beantragte jährliche Fördermenge anzusetzen. Der gewählte Betrachtungszeitraum sollte für mittlere Grundwasserstände repräsentativ sein.

Die Bestimmung der das Einzugsgebiet seitlich begrenzenden Grenzstromlinie, auch als Trennstromlinie oder neutraler Wasserweg bezeichnet, kann auf verschiedene Weise erfolgen (DVWK 1982). Welche Methode zur Anwendung kommt, hängt entscheidend von den verfügbaren Informationen und Daten ab (s. u.).

In der Praxis wird man nicht nur eines der Berechnungsverfahren einsetzen. Meist werden sich mehrere Methoden als verwendbar erweisen und in Kombination angewendet werden. Differierende Ergebnisse sind bei Anwendung unterschiedlicher Methoden zu erwarten, sie können aber der gegenseitigen Absicherung der jeweiligen Ergebnisse dienen und eine Optimierung des Abgrenzungsvorschlags ermöglichen.

Grundwassergleichen-Verfahren

Die Abgrenzung des Einzugsgebietes anhand eines Grundwassergleichenplans erfordert ein Netz von repräsentativen Grundwassermessstellen, um die erforderlichen Grundwasserstandsdaten zu gewinnen. Der Ausbau der Messstellen muss den Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes W 121, „Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen“ (DVGW 2003) entsprechen. Die notwendige Anzahl der Messstellen hängt von der Inhomogenität des

Grundwasserleiters und von der Größe des Einzugsgebietes ab. Wenn das vorhandene Messstellennetz auch unter Einbeziehung von Messstellen Dritter (Beregnungsbrunnen, Messstellen im Bereich von Deponien, Trinkwassernotbrunnen, Feuerlöschbrunnen etc.) nicht ausreicht, muss es soweit ergänzt bzw. erweitert werden, dass ein sachlich vertretbarer Grundwassergleichenplan erstellt werden kann.

Die im Rahmen der Grundwassererkundungs- und -erschließungsmaßnahmen errichteten Messstellen sind im Allgemeinen ungleichmäßig über das Einzugsgebiet verteilt und konzentrieren sich meist im näheren Umfeld der geplanten Fassungsanlage. Die Ermittlung der Grenzstromlinie mit Hilfe des Grundwassergleichen-Verfahrens, das bei einer entsprechend guten Datenbasis die genaueste Methode zur Abgrenzung des Einzugsgebietes darstellt, ist daher vielfach nur durch den Bau zusätzlicher Messstellen möglich. Eine sichere Abgrenzung des Einzugsgebietes mittels Grundwassergleichenplänen erfordert allerdings nicht nur Grundwasserstandsmessungen innerhalb des unterirdischen Einzugsgebietes, sondern auch Messwerte aus seinem Umfeld.

Besonders bei Grundwasserleitern mit sehr kleinem Grundwasserspiegelgefälle (etwa $< 1 : 1\,000$) ist darauf zu achten, dass eine geringfügige Veränderung in der Linienführung einer Grundwassergleiche, z. B. bedingt durch zeichnerische Ungenauigkeiten, den Verlauf der konstruierten Grenzstromlinie und damit die angenommene Ausdehnung des Einzugsgebietes beträchtlich beeinflussen kann.

Falls während des bisherigen Brunnenbetriebes auch nicht annähernd mit der mittleren Entnahmerate, entsprechend der wasserrechtlich genehmigten Jahresentnahme, gefördert wurde, müsste die angestrebte Entnahmesituation durch eine entsprechende Steigerung bzw. Verringerung der Entnahmerate über eine längere Versuchsdauer erzeugt oder auf die nachfolgenden Verfahren zurückgegriffen werden, soweit dies nach den hydrogeologischen Gegebenheiten möglich ist.

Rechnerische und grafische Verfahren

Der Verlauf der Grenzstromlinie kann überschlägig durch analytische Lösungen bestimmt werden. Die Anwendung dieser Rechenverfahren setzt bestimmte Randbedingungen oder entsprechend vereinfachte Annahmen voraus,

wie einen vollkommenen Brunnen, einen ausgedehnten, homogenen Grundwasserleiter mit homogener Parallelströmung, gespanntem oder freiem Grundwasserspiegel (Absenkung höchstens ein Zehntel der Grundwassermächtigkeit) und eine gleichmäßige, die Fließrichtung nicht beeinflussende Neubildungsverteilung.

Für die Entnahmeparabel eines homogenen Grundwasserleiters lassen sich mit einfachen analytischen Rechenverfahren charakteristische Größen ermitteln, die einen ersten Überblick über die Größe des Einzugsgebietes geben.

Die Entnahmebreite b im unbeeinflussten Strömungsbereich, also im Fernbereich der Fassungsanlage, lässt sich bei Kenntnis der Entnahmerate Q , der Transmissivität T und des natürlichen Grundwasserspiegelgefälles I mit

$$b = \frac{Q}{T \cdot I} \quad (\text{Gl. 1})$$

bestimmen. Auf Höhe des Förderbrunnens beträgt die Entnahmebreite $b/2$.

Der Abstand x_0 des Kulminationspunktes stromunterhalb des Brunnens ergibt sich aus der Überlagerung der zylindrischen Zuströmung zum Förderbrunnen und der natürlichen, unbeeinflussten Strömung aus der Gleichung

$$x_0 = \frac{b}{2 \cdot \pi} \quad (\text{Gl. 2})$$

Weitere Punkte auf der Grenzstromlinie lassen sich z. B. durch das grafische Verfahren von DE WIEST (1965) ermitteln. Für Mehrbrunnenanlagen kann die Feldmethode nach Theis (in FREEZE & CHERRY 1979) angewendet werden.

PC-Programme stehen zur Verfügung, mit denen derartige Berechnungen ohne großen Aufwand durchzuführen und die Ergebnisse grafisch darstellbar sind; erwähnt sei als Beispiel das PC-Programm PAT (Pathlines and Travel Times Model) von KINZELBACH & RAUSCH 1991, KINZELBACH et al. 1996.

Je komplexer die realen Verhältnisse sind und je stärker abstrahiert werden muss, desto weniger Gewicht darf den mit Hilfe analytischer Rechenverfahren ermittelten Ergebnissen bei der Einzugsgebietsabgrenzung beigemessen werden.

Absenkungsgebiet

Das Absenkungsgebiet und die jeweiligen Absenkungsbeträge lassen sich bei einem ausreichend dichten Messstellennetz im mutmaßlichen Absenkungsbereich mit Hilfe von Grundwasserstandsmessungen ermitteln. Aus der Differenz von Ruhe- und Betriebsspiegeldaten werden Linien gleicher Absenkung konstruiert, und die durch die Entnahme bedingte Absenkung wird flächenhaft dargestellt.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, mit analytischen Rechenansätzen die Absenkungen um einen Brunnen zu berechnen. Auf Einschränkungen, die bei diesen Verfahren zu beachten sind, wurde bereits hingewiesen. Nach der Methode von Dupuit-Thiem wird die Absenkung s an einem bestimmten Punkt nach folgender Formel berechnet (MATERIALIEN ZUM ATLAS-TENHANDBUCH NIEDERSACHSEN 2004),

für gespannte Grundwasserleiter:

$$s = h_0 - h = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot k_f \cdot m} \cdot \ln \frac{R}{r} \quad (\text{Gl. 3})$$

für Grundwasserleiter mit freier Grundwasseroberfläche:

$$s = h_0^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi \cdot k_f} \cdot \ln \frac{R}{r} \quad (\text{Gl. 4})$$

mit

- s = Absenkung (im Abstand r vom Brunnen) [m],
- h = Standrohrspiegelhöhe (im Abstand r vom Brunnen) [m],
- h_0 = ungestörte Standrohrspiegelhöhe (im Abstand R vom Brunnen) [m],
- Q = Pumprate (negativ bei Entnahme, positiv bei Infiltration) [m³/s],
- k_f = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s],
- m = Aquifermächtigkeit [m],
- R = Reichweite der Absenkung (z. B. nach Sischardt: $R = 3000 \cdot s_B \cdot k_f^{1/2}$, mit Brunnenabsenkung s_B [m], k_f [m/s] und R [m]),
- r = Abstand vom Brunnen [m].

Auch wenn mit diesen analytischen Methoden die natürlichen Gegebenheiten nur näherungsweise abgebildet werden können, so erlauben sie dennoch eine erste Einschätzung des Absenkungsverhaltens. Bei sehr kleinen Entnahmen (s. Kap. 4.1) werden diese Näherungslö-

sungen meist ausreichend für die fachliche Bewertung des Vorhabens sein.

Grundwasserströmungsmodelle

Seit einiger Zeit werden vorwiegend bei Grundwasserentnahmen in Lockergesteinsgebieten numerische Strömungsmodelle zur Ermittlung des Einzugs- und Absenkungsgebietes eingesetzt. Bei bedeutenden Grundwasserentnahmen sind trotz der in den Modeller-

gebnissen enthaltenen Unsicherheiten und trotz notwendiger Vereinfachungen numerische Modelle wertvolle Instrumente bei der Bewertung dieser Vorhaben.

Bestimmen hydrogeologisch komplexe Untergrundverhältnisse die Grundwasserströmung im Einzugsgebiet bzw. ist die Verteilung der Grundwasserneubildungsrate sehr ungleichmäßig, so liefern häufig nur noch numerische Berechnungsmethoden naturnahe Resultate.

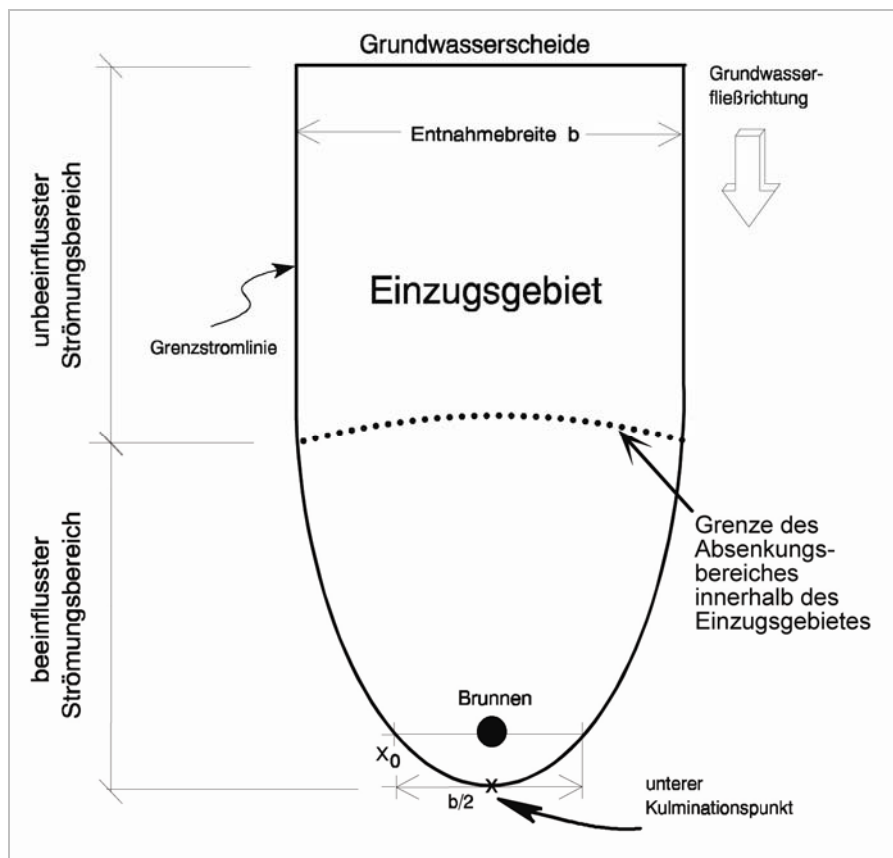


Abb. 5: Charakteristische Größen des Einzugsgebietes eines Brunnens (schematisiert), Erläuterungen s. Text (ECKL, HAHN & KOLDEHOFF 1995).

Im Folgenden wird ein Minimalkatalog von Anforderungen an ein Grundwasserströmungsmodell empfohlen, um u. a. einen aus Sicht des LBEG notwendigen Leistungsstandard zu gewährleisten (NEUSS & DÖRHÖFER 2007). Detailliertere Anforderungen sind in der Technischen Regel W 107 (DVGW 2004) beschrieben. Es liegen bereits Arbeitsunterlagen zu technischen und fachlichen Aspekten der Mo-

dellierung vor (DVWK 1985, DVGW 2004, FH-DGG 2000, KINZELBACH et al. 1996), die zu den Modellvoraussetzungen und der Erstellung der hydrogeologischen Modellvorstellung wertvolle Informationen liefern.

Dimensionalität eines Grundwasserströmungsmodells

Je nach der Aufgabenstellung sowie der geologischen und hydrogeologischen Situation können Modelle unterschiedlicher Dimensionalität stationär oder instationär eingesetzt werden:

- 1D-Modelle für spezielle, oft lokal begrenzte oder prinzipielle Fragestellungen,
- 2D-Modelle bei einfachem geologischem Bau und entsprechender Fragestellung unter Vernachlässigung vertikaler Gradienten (diese Entscheidung sollte begründet werden),
- 3D-Modelle bei kompliziertem hydrogeologischem Bau, beim Auftreten von nennenswerten vertikalen Gradienten und entsprechender Fragestellung, z. B. Wechselwirkung mit oberirdischen Gewässern.

Hydrogeologisches Modell

Das hydrogeologische Modell ist die konzeptionelle Visualisierung der hydrogeologischen Verhältnisse. Es enthält abstrahierte Darstellungen zur geologischen Struktur des Untergrundes und seiner hydraulischen Eigenschaften sowie zur chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und der durchflossenen Gestei-

ne. Das hydrogeologische Modell ist eine Idealisierung und Vereinfachung der realen Bedingungen. Es ist die Vorstufe der Diskretisierung und muss daher alle wesentlichen Informationen enthalten. Die hierfür erforderlichen Modelleingabedaten und Randbedingungen erlauben die Zerlegung des Raumes (gegebenenfalls auch der Zeit) in berechenbare Zellen. Die anschließenden Schritte der Kalibrierung und der Validierung (s. u.) stellen eine wichtige Ergänzung zur Fortentwicklung des hydrogeologischen Modells dar. Im Einzelnen lassen sich die Schritte zur Entwicklung des numerischen Modells aus dem hydrogeologischen Modell wie folgt definieren:

- Skalierung des Modellraumes (DVWK 1985),
- Darstellung des Untergrundes (1D, 2D oder 3D),
- Diskretisierung in Raum und gegebenenfalls Zeit,
- Vorgabe der Bedingungen an allen Modellrändern,
- Definition von Anfangsbedingungen.

Die Umsetzung des konzeptionellen hydrogeologischen Modells aus den Basisdaten zur gesättigten und ungesättigten Zone ergibt sich aus Abbildung 6.

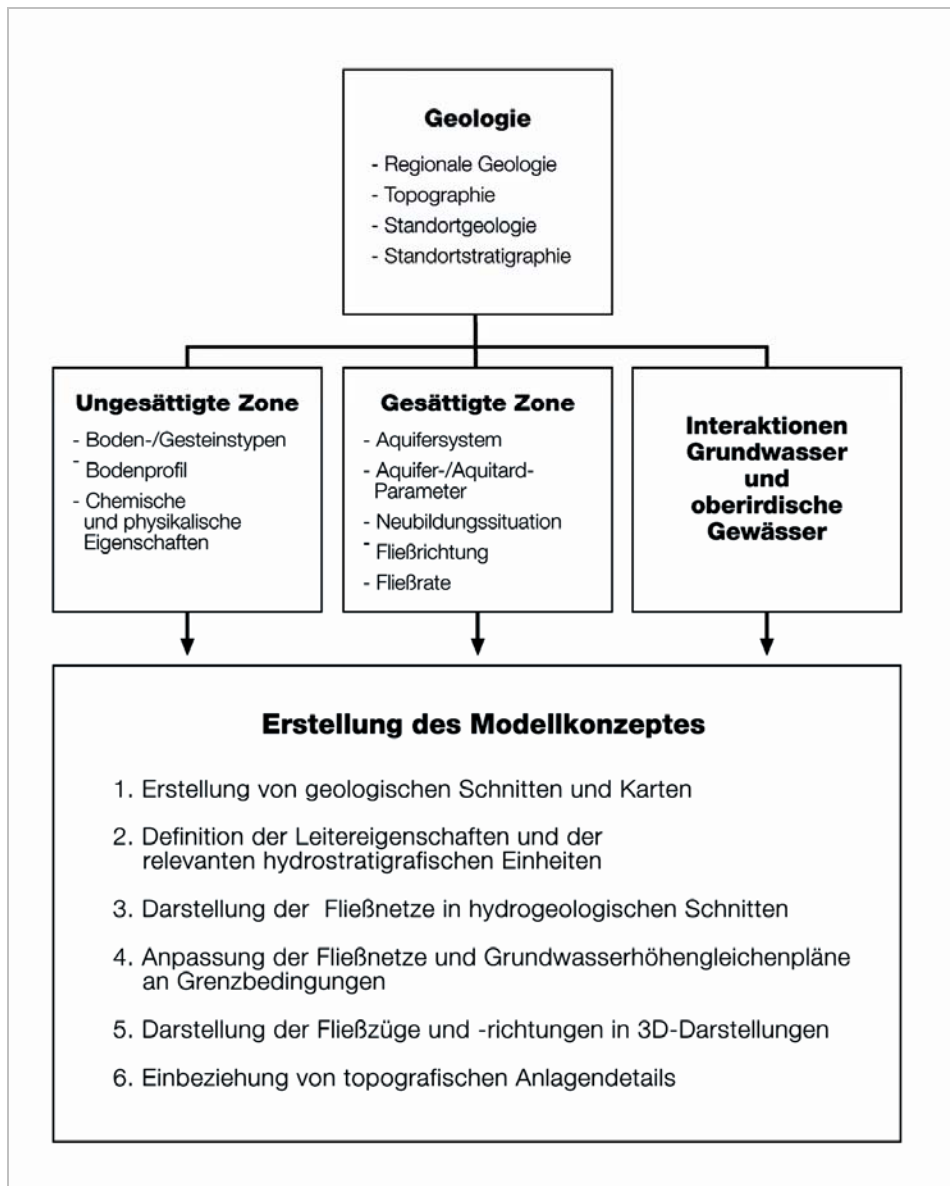


Abb. 6: Prozess der Entwicklung des hydrogeologischen Modells, umgezeichnet nach SARA (1993).

Skalierung des Modellraumes

Die Wahl der Größe des Modellraumes wird von der Aufgabenstellung und von der Verfügbarkeit hydrogeologischer Daten bestimmt und soll folgenden Kriterien genügen:

- Der zu betrachtende Modellraum muss vollständig erfasst werden.
- Der Modellraum (das Untersuchungsgebiet) ist so zu bemessen, dass er deutlich

größer als das Berechnungsgebiet und auch größer als das Aussagegebiet ist (DVWK 1985 und Abb. 7).

- Eine Beeinflussung der gewählten Modellränder ist auszuschließen oder zu minimieren. Auswirkungen auf Modellränder durch Maßnahmen im Aussagegebiet sind zu diskutieren.

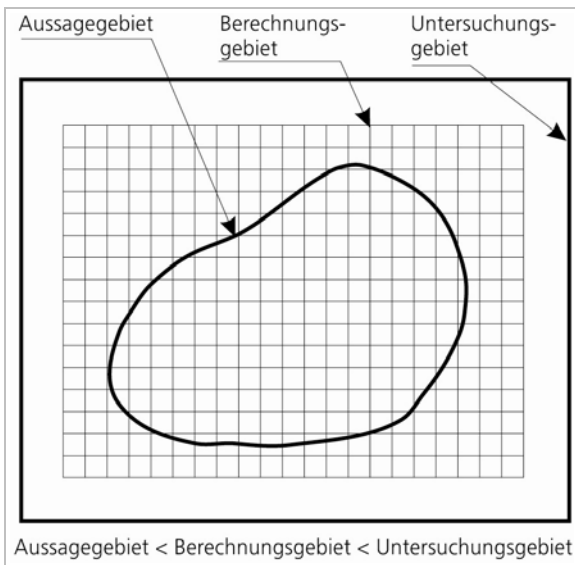


Abb. 7: Skalierung des Modellraums, umgezeichnet nach DVWK (1985).

Darstellung des Untergrundes

Für das Ergebnis der Modellierung des Grundwasserflusses spielen die Verbreitung und Raumlagen besonders hoch und besonders gering leitfähiger Schichtkomplexe eine große Rolle. Der dreidimensionale Bau des Untergrundes kann letztlich nur unvollständig erfasst werden; eng vernetzte Schnitte schaffen jedoch eine gute Voraussetzung für das Verständnis des Raumes.

Am Beginn der Erfassung der Strukturen des Untergrundes steht in der Regel

- die Zusammenstellung aller wesentlichen Bohrdaten im Untersuchungsgebiet,
- die Heranziehung weiterer Daten zur Struktur des Untergrundes, insbesondere geophysikalischer Daten und vorinterpretierter Strukturpläne,
- die Kompilation ausgewählter Daten zu einem Vormodell (Abb. 8, A), das noch wesentlich auf Rohdaten basiert.

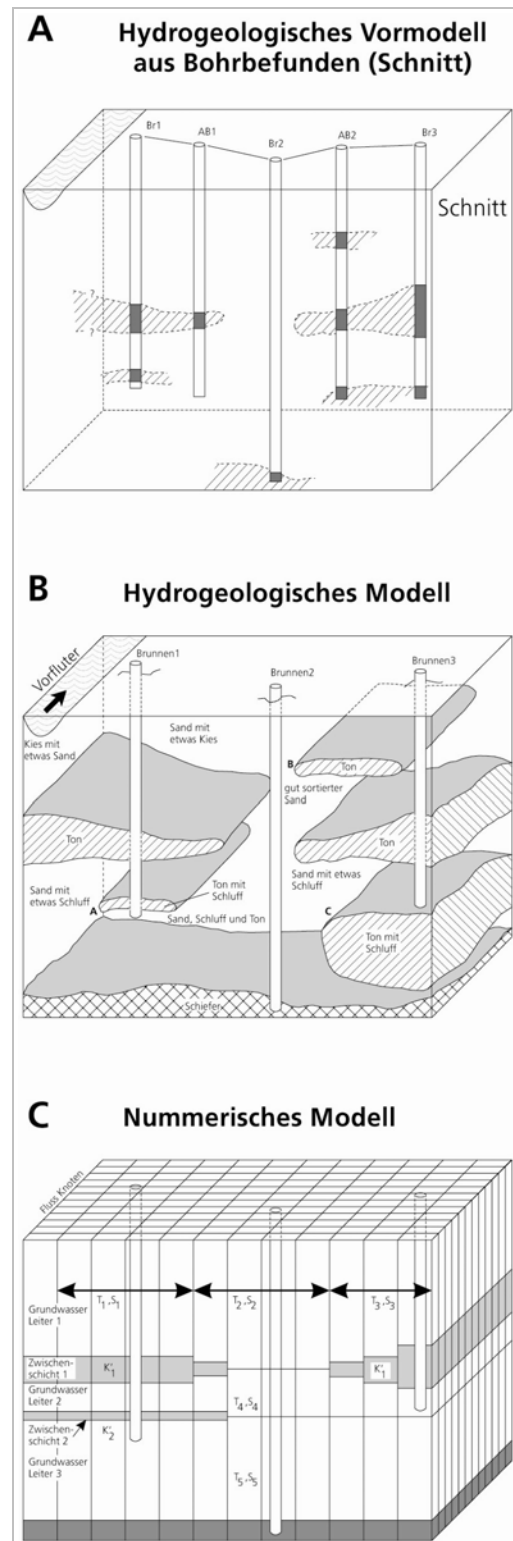


Abb. 8: Schritte zur Diskretisierung des numerischen Modells (C) aus hydrogeologischem Vormodell (A) und Modell (B), ergänzt nach ANDERSON & WOESSNER (1992).

Die für die eigentliche hydrogeologische Modellierung (Abb. 8, B) verwendeten hydrogeologischen Schnitte müssen einige wesentliche Anforderungen erfüllen:

- Lage in Richtung und quer zur bekannten oder erwarteten regionalen Grundwasserströmung,
- Einpassung auf der Schnittlinie liegender oder projizierter Bohrungen,
- vertikale Abgrenzung von Schichten mit ähnlichen Durchlässigkeitseigenschaften,
- hydrostratigrafische Zuordnung relevanter hydrogeologischer Einheiten,
- widerspruchsfreie Geologie und Hydrostratigrafie an den Kreuzungspunkten der Schnitte,
- Angabe zu den Grundwasserständen und zum Porenwasserdruck an den Belegpunkten unter Berücksichtigung von datierten Messungen,
- Erstreckung der Schnitte deutlich über das Berechnungsgebiet hinaus, um die Randbedingungen definieren und beschreiben zu können.

Die Regionalisierung von Eingabedaten für die Diskretisierung muss unbedingt auf Plausibilität geprüft werden, weil es sonst zu Problemen bei der Kalibrierung und der Ergebnisinterpretation kommen kann (MEYER 1996). Bei der Erstellung von flächigen interpretierten und regionalisierten Darstellungen ist die genaue Lage der Belegpunkte und der jeweilige dort angebroffene Wert (z. B. Standrohrspiegelhöhe, Mächtigkeit, Höhenlage) anzugeben.

Diskretisierung in Raum und Zeit

Die Diskretisierung des zu untersuchenden Raumes in einzelne Berechnungselemente (Abb. 8, C) ist die Grundlage für alle weiteren Schritte und erfordert daher besondere Sorgfalt und hydrogeologischen Sachverstand. In diesem Zusammenhang ist auch über den Berechnungsansatz und die damit verbundene unterschiedliche Diskretisierung zu entscheiden:

- Finite-Elemente-(FE)-Methode,
- Finite-Differenzen-(FD)-Methode,
- Finite-Volumen-(FV)-Methode.

Die Wahl des Berechnungsansatzes richtet sich wesentlich nach der Aufgabenstellung und der verfügbaren Software. Allerdings lassen sich bei ausreichender Datendichte feine Diskretisierungen im Bereich betrachteter Objekte mit der FE-Methode leichter und besser realisieren (Speicherplatz- und Rechenzeitoptimierung, naturnähere Abbildung). Eine sehr feine Auflösung bei geringerer Datendichte suggeriert lediglich eine präzisere Modellaussage, die in Wirklichkeit nur eine bessere Auflösung der Interpolation numerischer Ergebnisse ist. Die so erzielte Aussage ist nicht belastbarer als die einer gröberen Diskretisierung und daher entbehrlich.

Bei nennenswerten nachgewiesenen vertikalen Gradienten in einem Aquifersystem sind diese, auch in nur einstöckigen Systemen, bei der vertikalen Diskretisierung zu berücksichtigen.

Die Berücksichtigung der Wechselbeziehungen zwischen oberirdischen Gewässern und dem Grundwasser kann eine eigene Modellebene erforderlich machen, wenn eine Beeinflussung oberflächennaher Bereiche durch einen Störimpuls (z. B. eine zu prognostizierende Grundwasserentnahme) auf die freie Wasseroberfläche nicht auszuschließen und dieser Einfluss durch die gewählte Randbedingung nicht mehr aufzulösen ist.

Grundsätzlich ist es erforderlich, dass im Zusammenhang mit der Modelldiskretisierung geologische bzw. hydrogeologische Schnitte angefertigt werden, die es erlauben, die hydrogeologischen Gegebenheiten in ein Modell umzusetzen und die Umsetzung zu dokumentieren.

Vorgabe der Bedingungen an allen Modellrändern

Ein Strömungs- oder gegebenenfalls Transportmodell benötigt an allen Modellrändern Vorgaben zu den hydraulischen Bedingungen an diesen Rändern. Diese Vorgaben sind aus Naturdaten und aus der Interpretation des hydrogeologischen Sachverhalts bzw. des hydrogeologischen Modells abzuleiten. Neben der Vorgabe von Systemeigenschaften bestimmen die Randbedingungen die Zuverlässigkeit der Aussagen des nachgebildeten Systems entscheidend.

Es wird zwischen drei Arten von Randbedingungen unterschieden:

- Festpotenzialrand (Dirichlet'sche Randbedingung),
- Zu- oder Abstromrand (Neumann'sche Randbedingung),
- Potenzialabhängige Zusickerung (Cauchy'sche Randbedingung).

Randbedingungen sind grundsätzlich durch Naturmessungen zu definieren. Ränder sollten so formuliert werden, dass sie einfache Randbedingungen ergeben und plausibel sind. Sie sind zu begründen.

Oberirdische Gewässer sollten entweder als eigene Modellebenen, als Zu-/Abstromrand oder als potenzialabhängige Zusickerung nach Naturmessungen vorgegeben werden.

Die Modellbasis ist mit ihrer Randbedingung zu beschreiben und aus hydrogeologischer Sicht zu diskutieren.

Die Grundwasserneubildung auf dem oberen Modellrand des Aquifersystems ist eine sensible Größe. Sie sollte aus validierten Karten der Grundwasserneubildung (s. o.) übernommen werden, kann aber auch aus bodenkundlichen Untersuchungen, Wasserhaushaltsbetrachtungen oder nach hydrogeologischen Untersuchungsergebnissen in Verbindung mit Klimadaten speziell hergeleitet werden. Diese Ergebnisse sind nachvollziehbar darzustellen und zu diskutieren.

In der Regel werden vertikale Ränder durch Festpotenziale, Wasserscheiden oder Stromlinien definiert. Das setzt voraus, dass diese Festlegungen durch Naturmessungen in ausreichender Dichte belegbar sind und als relativ sichere Interpretationen vorliegen. Allerdings wird man auf Schätzungen angewiesen sein, wenn diese Datendichte nicht mehr ausreichend ist bzw. das darzustellende System differenzierter wird. Dies ist dann oft der Fall, wenn mit dem Auftreten von nennenswerten vertikalen Gradienten zu rechnen ist und diese durch fehlende Naturmessungen nicht belegbar sind, wie es z. B. in Zwischenschichten, die eine deutlich geringere hydraulische Leitfähigkeit aufweisen, der Fall ist. Auch in solchen Fällen können weitere Erkundungen erforderlich werden.

Definition von Anfangsbedingungen

Anfangsbedingungen beschreiben die Bedingungen, die zu Beginn instationärer Bedingungen herrschen; hierzu zählen der Quellterm, unterschiedliche Randpotenziale oder Wassermengen auf den Rändern und Entnahmen. Sollten instationäre Modellrechnungen erforderlich sein, so sind zusätzlich zu den oben beschriebenen Daten Vorgaben zur zeitlichen Diskretisierung erforderlich.

Das bedeutet, dass die Randbedingungen in der vorgegebenen zeitlichen Auflösung zumindest bereichsweise bekannt sind oder zumindest abgeschätzt werden können.

Die betrachteten Zeitintervalle müssen gleich oder ähnlich sein. Die Abschätzung ist plausibel und nachvollziehbar zu begründen. Auch hier ist ein weiterer Erkundungsbedarf in Form von Messreihen nicht auszuschließen.

Systemeigenschaften

Zur Erstellung von Strömungsmodellen sowie deren Kalibrierung und Validierung werden Naturdaten und abgeleitete Daten als Eingabedaten benötigt. Dieses sind neben den o. a. Daten zur Modellgeometrie und zu den Systemeigenschaften (einschließlich Anisotropie) sowie zu den Randbedingungen und gegebenenfalls Anfangsbedingungen im Wesentlichen hydraulische Daten.

Für die Kalibrierung werden Daten zu Wasserständen und Abflussmengen von Oberflächengewässern (Kontrollfunktionen) benötigt. Diese werden beim NLWKN vorgehalten.

Für den Fall einer Transportmodellierung sind darüber hinaus Angaben zu Ausbreitungsparametern, wie z. B. zur Porosität, Dispersion, Diffusion, Sorption, sowie zum Quellterm und zu entsprechenden Kontrollfunktionen erforderlich.

Ergebnisse und Interpretationen

Modellkalibrierung

Da bei einer Modellierung in keinem Fall alle erforderlichen Eingabedaten (Systemeigenschaften und Rand-/Anfangsbedingungen) bereits zu Beginn vollständig und naturnah zur Verfügung stehen, sind beim ersten Rechen-

lauf noch keine naturnahen Ergebnisse (Standrohrspiegelhöhen und Bilanzen) zu erwarten.

Durch Vergleich der numerisch ermittelten Lösung mit den gemessenen und interpretierten Kontrollfunktionen und anschließender Variation von Eingabedaten ist die Modellaussage zu optimieren. Dieser Vorgang ist ein sensibler Teil der Modellierarbeiten, denn er setzt hydrogeologischen Sachverstand einerseits und ein hohes Maß an Kritikfähigkeit andererseits voraus.

Kontrollfunktionen sind in der Regel Verteilungen von Standrohrspiegelmessungen in der Fläche und deren Interpretationen in den jeweiligen betrachteten Raumlagen der dargestellten Schichten des gesamten Untersuchungsgebietes (Abb. 9), zumindest über den als Grundwasserleiter ausgewiesenen Bereichen. Diese Darstellungen sollen für jeden Grundwasserleiter alle Messdaten nach Lage und Wert enthalten. Die interpolierten Wasserstandsverteilungen werden heute oft mit Inter- und Extrapolationssoftware erzeugt; das Ergebnis dieser Berechnungen ist mitunter fachlich nicht korrekt. Es ist daher unverzichtbar, die Softwarelösung nach fachlichen Gesichtspunkten zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Als zusätzliche Kontrollfunktion ist eine Bilanzierung von entweder über Modellränder oder über Vorfluter ab- oder zuströmende Wassermengen heranzuziehen. Zumindest bei Vorflutern ist ein Vergleich von gemessenen und berechneten Wassermengen, sofern Messungen vorliegen, erforderlich. Als Ergebnis ist eine Gesamtwasserbilanz zu formulieren, die als Modellaussage immer zur Verfügung steht. Diese gerechnete Bilanz ist mit Naturmessungen, der angesetzten Grundwasserneubildung und geschätzten Mengen, die über weitere Ränder strömen, zu diskutieren. Die Bilanz muss plausibel sein.

Die Variation von Systemeigenschaften oder Randbedingungen mit dem Ziel, eine optimale Übereinstimmung von gerechneten und gemessenen Ergebnissen zu erzielen, erfordert Erfahrung. Es ist in keinem Fall ausreichend, nur an den Modellelementen oder deren Knoten, die repräsentativ für einen Punkt der Kontrollfunktion stehen, eine ausreichende Übereinstimmung zu erzielen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass zwischen einzelnen Belegpunkten Bereiche mit von der Natur abweichenden Gefälleverhältnissen erzeugt werden. Variationen dürfen nur in den Bandbreiten erfolgen, die auch realitätsnah sind; dies gilt insbesondere für die Verteilung der Grundwasserneubildung.

Die Kontrollfunktionen stellen die Interpretationen optimaler Lösungen dar, die vom Experten definiert wurden und die es nachzuvollziehen gilt. Dies gilt für stationäre Verhältnisse genauso wie für instationäre Bedingungen.

Bei der Darstellung des Ergebnisses der Modellkalibrierung ist es wünschenswert, nicht nur die Abweichungen von punktförmigen Messergebnissen gegen Berechnungsergebnisse zu dokumentieren, sondern auch die Abweichungen von gemessenen zu gerechneten Werten in der Fläche (HOFFMANN 1991, MEYER 1996). Mit dieser Darstellung ist die Bewertung der Modellkalibrierung in der gesamten durch das Modell erfassten Fläche (Berechnungsgebiet) einfacher und verständlicher. Eine übliche Darstellung, bei der lediglich die Messergebnisse an Fixpunkten gegen die Berechnungsergebnisse an entsprechenden Modellzellen (oder Modellknoten) dargestellt werden, ist zwar nicht falsch, erreicht aber bei dem Nachweis der Güte der Modellanpassung nur ein Teilziel. Die Güte der Anpassung zwischen beobachteten und gemessenen Grundwasserständen sollte in jedem Fall anhand von statistischen Kenngrößen deutlich gemacht werden.

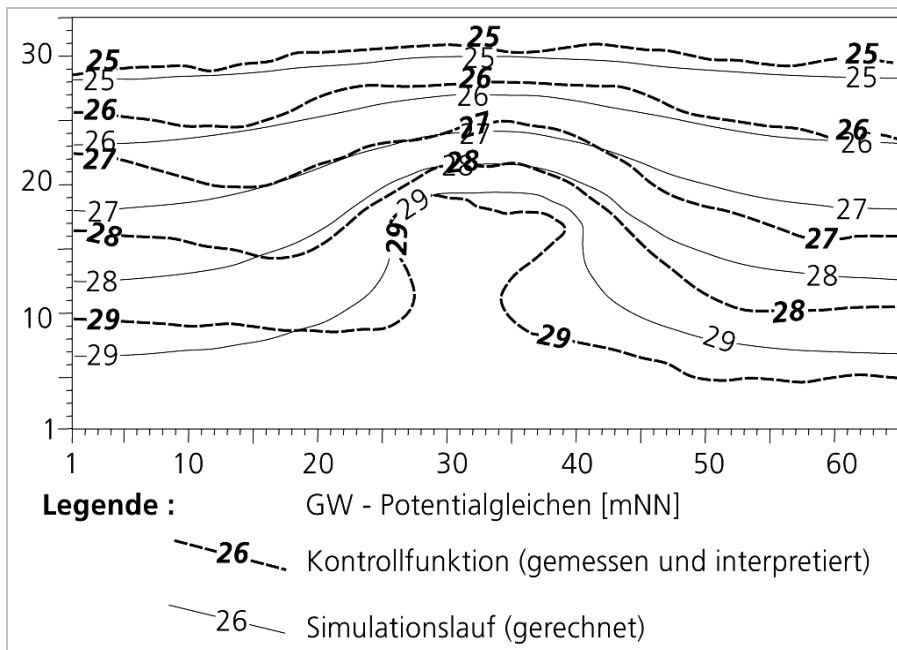


Abb. 9: Vergleich berechneter und gemessener Grundwassergleichen, umgezeichnet aus MEYER (1996).

Modellvalidierung

Der Nachweis, dass ein kalibriertes Modell prognosefähig ist, erfolgt durch eine Validierung. Dafür wird mit mindestens einem unabhängigen Datensatz im Modellgebiet, der nicht für die Kalibrierung verwandt wurde, ein weiterer Rechenlauf erzeugt (DVWK 1999b). Wenn das Ergebnis im Vergleich zur Kalibrierung plausibel ist, wird das kalibrierte Modell i. d. R. eine ausreichende Genauigkeit vorweisen. Sollte dies nicht der Fall sein, so ist die Kalibrierung zu überprüfen.

Die Validierung ist bisher häufig zu wenig beachtet worden. In der Vergangenheit lag dies meist daran, dass die erforderlichen Parametersätze nicht oder nur unvollständig zur Verfügung standen. Für eine nachvollziehbare Modellierung sollte die Validierung aber ein wesentlicher Bestandteil der Argumentationskette einer (gegebenenfalls justiziablen) Modelluntersuchung sein.

Prozessing

Modellergebnisse mit den heutigen Softwarelösungen erlauben ein teilweise exzellentes Prä- und Postprozessing. Dies kann dafür genutzt werden, um Bandbreiten der Ein- und Ausgabedaten nicht nur bereitzustellen, sondern auch entsprechend darzustellen. Dabei

sind Interpretationen zum Verhalten des Modells bei unterschiedlichen Parameterkombinationen eine wertvolle Hilfe für die Beurteilung der Aussageschärfe.

Fehlerbetrachtung

Die numerischen Fehler eines Rechenmodells werden weniger von der mathematischen Lösung als von der Diskretisierung bestimmt. Dies ist bei der Diskretisierung zu berücksichtigen. Allerdings setzt die lokale Datendichte hier Grenzen, denn eine sehr feine Auflösung erzeugt nur formal eine größere Genauigkeit.

Die Darstellung von Standrohrspiegelhöhenverteilungen und deren Differenzen gegenüber gemessenen und interpretierten Daten ist leicht möglich (Abb. 9). Sie dient dem besseren Verständnis, auch gegenüber den Auftraggebern, die nicht über diese Spezialkenntnisse verfügen können. Dennoch muss immer wieder darauf hingewiesen werden, dass ein Modell in keinem Fall die natürlichen Verhältnisse exakt abbilden kann.

Sensitivitätsanalyse

Für die Beurteilung der Abbildungsschärfe eines Modells sind generelle Aussagen nicht möglich. Hier ist der Einfluss einzelner Parameter in Form von Sensitivitätsanalysen zu un-

tersuchen, wie es MEYER (1996) beispielhaft dargestellt hat. In kritischen Fällen kann durch die Vorgabe von extremen Parameterkombinationen ein konservativer Fall des entsprechenden Problems beschrieben oder stochastisch erzeugte Datensätze mit plausiblen Bandbreiten verwendet werden.

Dokumentation

Modelluntersuchungen sind in der Regel komplex und werden in zahlreichen Verfahren verwandt. Deshalb ist eine komplette Dokumentation, auch im Hinblick auf einen mittelfristigen Einsatz, zwingend erforderlich. In ihr müssen alle Eingabedaten nachvollziehbar angegeben und Annahmen erläutert werden; sie sollen auch für die Auftraggeber, die oft mit diesem Spezialgebiet nicht vertraut sind, lesbar sein. Ein Grundwassermodell (oder Ausbreitungsmodell) kann längerfristig gelten. Aus diesem Grunde wird man es später, wenn im Projekt neue Daten erhoben oder andere Randbedingungen (z. B. Grundwasserentnahmen) vorgesehen werden, weiter verdichten und verbessern wollen. Dies und eine weitergehende Modellpflege sind nur mit einer verlässlichen Dokumentation möglich. Die zusammengestellten Modelldatensätze sollten dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt werden. Einzelne Arbeitsschritte, vom Beginn der Modellerstellung bis zur Prognose, sind gesondert darzustellen. Hierzu gehören z. B.:

- Aufgabenstellung,
- Begründung des Modellansatzes,
- Erstellung der hydrogeologischen Modellvorstellung,
- Dokumentation der Eingabedaten,
- Darstellung und Begründung der gewählten Randbedingungen,
- Darstellung der Kalibrierung mit Diskussion von schwer zu kalibrierenden Bereichen,
- Darstellung der Validierung und der Sensitivitätsanalyse,
- Ergebnisdarstellung mit Diskussion.

Ausblick

Im Grundsatz sind bereits in DVWK (1985), DVGW (2004) und FH-DGG (2000) die Voraussetzungen dargelegt worden, die bei der Modellierung der Grundwasserströmung und der Erstellung des hydrogeologischen Modells

zu beachten sind. Aus der Sicht des LBEG wird ergänzend und im Hinblick auf die heutige Verfügbarkeit moderner Software formuliert, was derzeit erforderlich ist, und wie bei einzelnen Modelluntersuchungen in Niedersachsen verfahren werden soll. Immer muss beachtet werden, dass eine komfortable Software und deren relativ einfache Bedienbarkeit das erforderliche Fachwissen nicht ersetzen können. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Hydrogeologen und Modellerstellern ist die Grundlage für eine gezielte und sichere Problemlösung.

4.4 Abgrenzung von Einzugs- und Absenkungsgebieten im Festgestein

Einzugsgebiet

Grundwasserleiter im Festgestein sind meist Kluft- oder Karstgrundwasserleiter. In Kluftgrundwasserleitern fließt das Grundwasser hauptsächlich entlang eines Gefüges aus tektonisch angelegten Trennflächen, wie Störungen und Klüften mit gutem bis sehr gutem Wasserleitvermögen (10–20 m/d). In Karstgrundwasserleitern sind diese Trennflächen durch Lösungsvorgänge zu Karstgerinnen erweitert, die extreme Fließgeschwindigkeiten ermöglichen (> 100 m/h). Das Gestein zwischen diesen Trennflächen verfügt häufig über ein gewisses Porenvolumen und hat damit ein Speichervermögen. Das in die Grundwasserfassung eintretende Grundwasser ist daher oft eine Mischung aus jungem, auf den Trennflächen schnell fließendem und altem, langsam über die Porenräume strömendem Wasser. Untergeordnet finden sich im Festgestein auch Porengrundwasserleiter (Sandsteine mit einem hohen nutzbaren Porenraumanteil).

Für die Abgrenzung des Einzugsgebietes in Festgesteinsgebieten gelten im Prinzip die gleichen Anforderungen und Grundsätze wie in Lockergesteinsgebieten (Kap. 4.3). Im Festgestein sind jedoch Genauigkeiten bei der Abgrenzung wie im Lockergestein – selbst mit hohem zeitlichen und finanziellen Erkundungsaufwand – in der Regel nicht zu erreichen, da die die Grundwasserströmung bestimmenden Größen im Festgestein oft nicht mit dem gewünschten Detaillierungsgrad zu erfassen sind. Eine genauere Abgrenzung des Einzugsgebietes

tes mit Hilfe von Grundwassermessstellen, ein übliches Verfahren in Lockergesteinsgebieten, ist aufgrund der vielfach sehr komplexen Strömungsverhältnisse im Festgestein auch bei einem vergleichsweise engmaschigen Raster an Messstellen häufig nicht möglich. Gründe dafür sind z. B.

- die vielfach komplexe räumliche Anordnung von Grundwasserleitern und -geringleitern,
- die inhomogene und im Einzelnen nicht bekannte Verteilung von Klüften und Wegsamkeiten in den Grundwasserleitern.

Falls Grundwassermessstellen aus den genannten hydrogeologischen Gründen und auch aus wirtschaftlichen Erwägungen (sehr hohe Kosten für den Bau) nicht zur Einzugsgebietsabgrenzung herangezogen werden können – was der Regelfall sein wird –, entspricht es der fachlichen Praxis, das Einzugsgebiet unter Berücksichtigung des geologisch-hydrogeologischen Aufbaus des Untergrundes, hydraulischer Untersuchungsergebnisse und unter Einbeziehung der morphologischen Verhältnisse näherungsweise abzugrenzen. In geologisch relativ einheitlichen Räumen (meist Verbreitungsgebiet von Buntsandstein mit großer Schichtmächtigkeit und meist flachem Schichteinfallen von 5–10°) besteht häufig nur die Möglichkeit, die Einzugsgebietsgrenzen überwiegend nach morphologischen Gesichtspunkten festzulegen. Die sich daraus ergebende Frage, inwieweit das auf diese Weise ermittelte oberirdische Einzugsgebiet mit dem unterirdischen übereinstimmt, ist vor allem in einem morphologisch wenig gegliederten Gebiet oft nicht sicher zu beantworten. Um grobe Abgrenzungsfehler zu erkennen und zu vermeiden, sollte das auf diese Weise abgegrenzte mutmaßliche Einzugsgebiet mit der für die beantragte Fördermenge notwendigen Neubildungsfläche abgeglichen werden. In diesem Zusammenhang können auch mittels analytischer Methoden berechnete Größen, wie z. B. die Entnahmebreite, im Rahmen der Fehlerabschätzung hilfreich sein. Größere Differenzen bei der nach verschiedenen Methoden bestimmten Einzugsgebietsgröße sind fachlich zu erläutern und der Abgrenzungsvorschlag zu begründen.

Unter günstigen hydrogeologischen Bedingungen (z. B. Unterer Muschelkalk auf Röt) bzw. eindeutigen tektonischen Voraussetzungen

(z. B. Unterer Muschelkalk auf Röt als Horst, durch hydraulisch wirksame Verwerfungen gegen umgebenden Mittleren Keuper begrenzt) kann das Einzugsgebiet ausreichend genau abgegrenzt werden.

Speziell in Karstgrundwasserleitern eignen sich zur Ermittlung von Fließwegen und Fließgeschwindigkeiten sowie zur Erkundung von oberirdischem und unterirdischem Einzugsgebiet Tracer-Versuche.

Häufig werden in Festgesteinsgebieten Quellen für die Trinkwassergewinnung genutzt. Während die Lage und Dimension der Einzugsgebiete von Brunnen insbesondere durch die Entnahme und Förderbedingungen geschaffen wird, ist das Einzugsgebiet von Quellen dagegen vorwiegend durch die zeitlich und räumlich variierenden klimatischen Gegebenheiten bestimmt.

Grundsätzlich sollte auch in diesen Fällen geprüft werden, ob eine Abgrenzung des Einzugsgebietes mittels Grundwassermessstellen mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand möglich ist. Ansonsten kann bei Quellwässern neben den bereits erwähnten Verfahren das Entwässerungs- und Speicherverhalten über die Analyse der Auslaufkurven bestimmt werden. Aussagen zur Genese und Herkunft des Quellwassers ermöglichen physikalische, chemische und radiohydrometrische Parameter. Obwohl im Grunde erst Messwertreihen über mehrere Jahre verlässliche Interpretationen ermöglichen, sind auch kürzere Zeitreihen (regelmäßige Schüttungsmessungen – einschließlich des Überlaufs bei Quellfassungen – und zwar mindestens über ein Jahr) für die Abgrenzung von Einzugsgebieten hilfreich.

Charakteristische Punkte der Einzugsgebietsgrenzen lassen sich manchmal unmittelbar geologischen Karten entnehmen. So bildet bei frei auslaufenden Quellen die Höhenlage des Austrittspunktes einer Quelle den morphologisch tiefsten Punkt des Einzugsgebietes. Seine seitliche Berandung lässt sich möglicherweise aus den strukturgeologischen Gegebenheiten ableiten. Nur bei einem einfachen geologischen Gebirgsbau sind Quelleinzugsgebiete relativ sicher über die Oberflächenmorphologie festzulegen.

Für die Abgrenzung des Einzugsgebietes in Festgesteinen sollten insbesondere folgende Angaben vorliegen:

- Beschreibung/Darstellung der Lithologie, Verbreitung, Mächtigkeit und Lagerungsverhältnisse des genutzten Grundwasserleiters sowie seiner Grundwasserüberdeckung unter Verwendung der Schichtenverzeichnisse der Förderbrunnen und vorhandener Bohrungen sowie von Aufschlüssen im Untersuchungsgebiet und Geologischen Karten,
- Beschreibung und gegebenenfalls Darstellung des tektonischen Inventars und Einschätzung seiner hydraulischen Wirksamkeit,
- Beschreibung und Darstellung hydraulischer Kontakte zwischen verschiedenen Grundwasserleitern,
- Darstellung der Lage und hydraulischen Zuordnung von weiteren Grundwasseraufschlüssen im Untersuchungsgebiet (insbesondere von Quellen),
- hydraulische und geophysikalische Messungen in Brunnen und Grundwassermessstellen (Lage des Ruhewasserspiegels, Grundwasserganglinien, Auswertung von Pumpversuchen),
- bei Quelfassungen: Schüttungsverhalten der Quellen (regelmäßige Schüttungsmessungen über mindestens ein Jahr, einschließlich der Erfassung des Überlaufs bei Quelfassungen) und daraus abgeleitete Aussagen zu den Eigenschaften des Grundwasserleiters und zum Grundwasserangebot,
- Einfluss der Entnahme auf das Abflussverhalten von Vorflutern,
- physikalische und chemische Eigenschaften des Grundwassers,
- Angaben zur Grundwasserneubildung,
- Darstellung der Verkarstungsbereiche und des Verkarstungsgrades,
- Darstellung der Geländemorphologie und des Gewässernetzes.

Absenkungsgebiet

Das Grundwasser in den Festgesteinsgebieten Niedersachsens weist unter natürlichen Bedingungen häufig hohe Flurabstände von mehr als 5 m auf. In diesen Fällen sind entnahmebe-

dingte Absenkungen der Grundwasseroberfläche für den Naturhaushalt meist ohne Bedeutung.

In Gebieten mit natürlichen Flurabständen von weniger als 5 m sind, wie im Lockergestein, mögliche Auswirkungen auf den Naturhaushalt sowie auf andere Nutzungen zu ermitteln und zu bewerten. Analytische Berechnungsverfahren können in Festgesteinen mit komplexen Fließverhältnissen nur in grober Näherung das Absenkungsverhalten wiedergeben. Da sich das Grundwasser in Festgesteinen bevorzugt in den stärker geklüfteten und tektonisch beanspruchten Gebirgszonen bewegt, kann der Absenkungsbereich eine stark asymmetrische Form annehmen. Die tektonischen Gegebenheiten (Kluftrichtung und -intensität, Störungszonen etc.) sind daher in die fachliche Betrachtung einzubeziehen und bei der Festlegung des Absenkungsgebietes zu berücksichtigen.

Bei bedeutenderen Entnahmemengen (z. B. von mehr als 250 000 m³/a) oder wenn eine erhebliche Gefährdung anderer Nutzungen (z. B. für den Naturschutz wertvoller Gebiete) möglich ist, sollten Grundwassermessstellen zur Absicherung der berechneten Absenkungsdaten zur Verfügung stehen. Diese Messstellen können später auch für eventuell notwendige Beweissicherungsmaßnahmen herangezogen werden.

4.5 Anforderungen bei Grundwasserentnahmen für die Feldberegnung

Die natürlichen Niederschläge und das im effektiven Wurzelraum gespeicherte pflanzenverfügbare Bodenwasser (nFKWe) reichen oft nicht aus, um den Wasserbedarf landwirtschaftlicher Kulturen während der Vegetationsperiode zu decken. In Gebieten, in denen aus dem Grundwasser nicht ausreichend Kapillarwasser nachgeliefert werden kann, sind trockenheitsbedingte Ertragsminderungen die Folge. Ertragsverluste können auftreten, wenn der Wassergehalt im Wurzelraum 30–50 % des pflanzenverfügbaren Bodenwassers in besonders kritischen Zeitspannen des Wasserbedarfs unterschreitet. Zur Aufrechterhaltung eines Mindestbodenwassergehaltes sollte die Beregnung erst ab einer Unterschreitung von 40 % der nFK im Wurzelraum einsetzen (RENGER & STREBEL 1982). Zur Beregnung landwirt-

schaftlich genutzter Flächen wird häufig Grundwasser genutzt.

Bei Grundwasserentnahmen für die Feldberechnung sind in der Regel die Anforderungen an Wasserrechtsanträge zur Grundwasserentnahme zu beachten. Es ist darzustellen, ob Auswirkungen der Entnahme auf Wasserhaushalt, Ökologie und Nutzungen möglich sind. Wenn nachteilige Auswirkungen nicht auszuschließen sind, ist ein hydrogeologisches Gutachten vorzulegen.

Bei möglichen Beeinflussungen des Bodenwasserhaushalts durch die Grundwasserentnahme oder die Berechnung ist ein bodenkundliches Gutachten zu erarbeiten (s. Kap. 5). Außerdem dient ein bodenkundliches Gutachten zur Abschätzung der Berechnungsbedürftigkeit sowie zur Berechnungssteuerung landwirtschaftlicher Kulturen.

Die grundsätzlichen Anforderungen an Wasserrechtsanträge zur Grundwasserentnahme aus hydrogeologischer und bodenkundlicher Sicht wurden bereits dargelegt (JOSOPAIT, RAISSI & MÜLLER 2009, Geofakten 3). Bei Entnahmen für die Feldberechnung sind aus hydrogeologischer Sicht außerdem die folgenden Hinweise zu beachten.

Soweit nicht aufgrund günstiger Entnahmebedingungen oder sehr geringer Fördermengen Auswirkungen auf Natur, Landschaft, Vegetation sowie andere Grundwassernutzer auszuschließen sind, ist dem Antrag ein hydrogeologisches Gutachten beizufügen. Grundlegende Angaben über die Fördersituation und mögliche entnahmebedingte Auswirkungen sind jedoch in jedem Fall erforderlich.

Im hydrogeologischen Gutachten ist darzustellen, welche Grundwasserabsenkung entnahmebedingt zu erwarten ist. Das unterirdische Einzugsgebiet ist abzugrenzen. Außerdem sind mögliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt sowie die Grundwasserbeschaffenheit zu beschreiben. Dabei sollten insbesondere die folgenden Angaben enthalten sein:

- beantragte Entnahme, Brunnenstandort und Brunnenausbau (z. B. Tiefe, Verfiltrung, Bohr- und Ausbaudurchmesser, Wassersperren), Grundwasserstand sowie Schichtenverzeichnis der Brunnen- oder Aufschlussbohrung,
- Lage des Brunnens zu Wasserschutzgebieten oder Einzugsgebieten von Wasser-

werken, mögliche Auswirkungen auf die Entnahmerechte Dritter,

- Beschreibung der hydrologischen, geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten,
- Ausmaß und Reichweite der entnahmebedingten Grundwasserabsenkung. Die Angaben sind gegebenenfalls getrennt für das Entnahmestockwerk, weitere Grundwasserstockwerke und insbesondere für das oberflächennahe Grundwasser erforderlich. Für die betroffenen Grundstücke innerhalb des Absenkungsbereichs sind mögliche Auswirkungen zu untersuchen.
- Angaben über voraussichtliche Wirkungen der Entnahme auf den Grundwasserhaushalt, den Wasserstand oberirdischer Gewässer und die Grundwasserbeschaffenheit; Bewertung möglicher Entnahmeauswirkungen und Empfehlungen für weitere Begutachtungen,
- zeichnerische Darstellung des unterirdischen Einzugsgebietes aufgrund eines gemessenen oder berechneten Betriebspiegelplans; bei Entnahmemengen unter 50 000 m³/a können pauschale Angaben über die Größe des Regenerationsgebietes und die lokale und regionale Grundwasserfließrichtung ausreichen,
- Während des Betriebs sind die Förderzeiten und Entnahmemengen des Brunnens sowie die Grundwasserstände im Brunnen oder in einem Peilrohr in der Kiesschüttung zu messen und aufzuzeichnen. In höheren Grundwasserstockwerken sind gegebenenfalls weitere Messstellen einzubauen.
- Falls Auswirkungen der Förderung auf den Wasserhaushalt, die Ökologie oder Nutzungen zu erwarten sind sowie bei Grundwasserentnahmen über 50 000 m³/a, sollte dem Antrag ein hydrogeologisch begründetes Konzept für eine Grundwasserbeweissicherung beigelegt werden. Es muss ein ausreichendes Messstellennetz vorhanden sein, um Ausmaß und Reichweite der Grundwasserabsenkung bei den jeweiligen Entnahmemengen und klimatischen Bedingungen zu belegen. Die vorgesehene Auswertung und Darstellung der Messergebnisse sollte in diesem Konzept ebenfalls beschrieben werden.
- Bei Anträgen zur Grundwasserentnahme aus mehreren Brunnen mit einem zusam-

menhängenden Absenkungs- oder Einzugsgebiet sind die Auswirkungen auf die Umgebung in ihrer Gesamtheit darzulegen und in die Beweissicherung einzubeziehen. Dazu ist gegebenenfalls die Gründung eines Beregnungsverbandes und die umfassende Antragerstellung und Datenauswertung durch ein geeignetes Fachbüro anzustreben.

4.6 Erweiterung des Wasserrechtsgutachtens zur Verwendung im Wasserschutzgebietsverfahren

In Fällen, in denen das Wasserschutzgebietsverfahren zeitnah dem Wasserrechtsverfahren folgen soll und die Verwendung des Fachgutachtens für beide Verfahren geplant ist, sind die in Tabelle 1 aufgezeigten Inhalte um die Kapitel „Bemessung und Gliederung des Wasserschutzgebietes“ sowie „Gefährdungspotenzial und Schutzwirkung des Untergrundes“ zu erweitern (ECKL, HAHN & KOLDEHOFF 1995,

ECKL & RAISSI 2008, Geofakten 2). Bei der Festsetzung des Wasserschutzgebietes steht dabei im Vordergrund, das für die öffentliche Trinkwasserversorgung genutzte Grundwasser vor nachteiligen Veränderungen zu schützen. Aufgrund der großen Bedeutung einer sicheren Trinkwassergewinnung und auch wegen der z. T. nicht unerheblichen Nutzungseinschränkungen in einem festgesetzten Wasserschutzgebiet besteht ein hoher Anspruch an die Genauigkeit der Abgrenzung des schutzbedürftigen Gebietes. Bereits im Vorfeld ist daher zu prüfen, ob die Datengrundlage auch für das Wasserschutzgebietsverfahren ausreichend ist bzw. welche zusätzlichen Untersuchungen erforderlich sind. Da bei der Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes weitere im Wasserrechtsverfahren nicht relevante Kriterien eine Rolle spielen, sind das Schutzgebiet und das im Wasserrechtsverfahren nach hydraulischen Kriterien abgegrenzte Einzugsgebiet nicht immer identisch. Tabelle 3 gibt hierzu Hinweise und zeigt auf, um welche Gliederungspunkte und Inhalte ein für beide Verfahren gemeinsam genutztes Gutachten zu erweitern ist.

Tab. 3: Ergänzung des Fachgutachtens bei Verwendung in einem folgenden Wasserschutzgebietsverfahren.

Bemessung und Gliederung des Wasserschutzgebietes
<ul style="list-style-type: none"> ■ Äußere Begrenzung des Wasserschutzgebietes: Ermittlung der Grenzstromlinie für die wasserrechtlich beantragte Jahresentnahme, Berücksichtigung der zeitlich-räumlichen Variation des Einzugsgebietes durch klimatische und andere Einflüsse, Berücksichtigung von oberirdisch in das Einzugsgebiet entwässernde Flächen, gegebenenfalls Abschätzung eines Sicherheitszuschlages, z. B. aufgrund von nur näherungsweise bekannten Inhomogenitäten und Anisotropien. ■ Weitere Schutzzone (Zone III): Abgrenzung der Zone III, gegebenenfalls Unterteilung in die Zonen IIIA und IIIB, Bewertung der hydrogeologischen Gegebenheiten (einschließlich der Grundwasserüberdeckung und Trennschichten), gegebenenfalls Vorschläge für spezielle standortbezogene Nutzungsbeschränkungen. ■ Engere Schutzzone (Zone II): Ermittlung der 50-Tage-Linie (gegebenenfalls mit verschiedenen Methoden), Vergleich und Bewertung der Ergebnisse, Bewertung der Reinigungswirkung der Überdeckung des genutzten Grundwasserleiters, Abgrenzung der Zone II, Begründung im Falle einer Reduzierung oder bei Wegfall der Zone II, gegebenenfalls Vorschläge für spezielle standortbezogene Nutzungsbeschränkungen. ■ Fassungsbereich (Zone I): Erläuterung der Bemessung.

Gefährdungspotenzial im Einzugsgebiet und Schutzpotenzial des Untergrundes

- Zusammenstellung von potenziellen Belastungsquellen im Schutzgebiet, wie etwa intensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen, Massentierhaltungsbetriebe, Viehbesatzdichte, Siedlungen ohne Kanalisation, Gewerbe- und Industriebetriebe, Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen, Bodenabbauflächen (insgesamt, mit freigelegtem Grundwasser), bergbauliche Anlagen (Vorhaben und Rechte), Verkehrsflächen (Straßen, Schienenwege etc.), unterirdische Fremdleitungen (Ölleitungen mit Betreiber, sonstige), Wasserflächen (fließende, stehende Gewässer, Gewässerbenutzung), Deponien (Bauschutt, Hausmüll, Sonderabfall, Gartenabfall, Kompostierungsanlagen), Abwasser (Kanalisation, Kläranlagen, Einleitstellen von Kläranlagen in den Vorfluter), Ablagerungen und Verdachtsflächen, militärische Einrichtungen, Friedhöfe, sonstige Flächen der Grundwassergefährdung, geplante potenziell grundwassergefährdende Flächennutzung.
- Bewertung des Gefährdungspotenzials im Hinblick auf das geförderte Grundwasser: Die Schutzwirkung des Untergrundes (ungesättigte und gesättigte Zone) ist dabei in die Bewertung mit einzubeziehen.
- Bewertung der Schutzwirkung des Untergrundes in den einzelnen Schutzzonen, gegebenenfalls mit Empfehlungen für Auflagen und Nutzungsbeschränkungen.
- Standörtliches Verlagerungspotenzial für nicht sorbierbare Stoffe – Erfassung und Bewertung nach DIN 19732:

Im Rahmen der Wasserschutzgebietsverfahren liefert der Boden als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium über Filter- und Pufferfunktionen Aussagen zum potenziellen Nitratauswaschungsgefährdung der Flächen (s. hierzu u. a. ENGEL & MITHÖFER 2003).

Für die Erstellung einer bodenkundlichen Studie sind bodenphysikalische Kennwerte, wie z. B. Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität und Sickerwasserrate, notwendig. Die Berechnung der Kennwerte sollte nach DIN 19732 unter Berücksichtigung regionalisierter Klimadaten erfolgen.

Vorschläge für ergänzende Untersuchungen

- wie etwa detailliertere Bewertung des Schutzpotenzials der Grundwasserüberdeckung, gezielte Eingrenzung der Belastungsquellen.

5 Bodenkundliches Gutachten

5.1 Generelle Hinweise und Anforderungen

Eine bodenkundliche Bewertung im Rahmen von Wasserrechtsverfahren beinhaltet neben der Erstellung einer bodenkundlichen Grundlagenkarte für das Absenkungsgebiet als Basisinformation Aussagen zum Ausmaß (Betrag) der Grundwasserabsenkungen und deren Auswirkungen auf Pflanzenwachstum und Standorteigenschaften und enthält Vorschläge für weitere Beweissicherungsmaßnahmen. Um Grundlagen für die eventuell folgende Beweissicherung zu schaffen, muss zunächst die Datenbasis zu den Auswirkungen von Grundwas-

serabsenkungen erhoben werden. Die Erstellung von bodenkundlichen Beweissicherungsgutachten im Rahmen des wasserrechtlichen Bewilligungsverfahrens sollte Gutachtern mit bodenkundlicher Fachkompetenz vorbehalten sein.

Für die Abschätzung der entnahmebedingten Auswirkungen auf die land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung ist in der Regel der Grundwasserabsenkungsbereich maßgebend, der sich ausgehend von der Fassungsanlage bis zur Ein-dm-Absenkungsisolinie erstreckt. Im Rahmen der hydrogeologischen Begutachtung lassen sich Absenkungsbeträge meist nur mit einer Aussagegenauigkeit von 2–3 dm ermitteln. Dieses hydrogeologisch abgegrenzte Absenkungsgebiet wird daher um einen Saumbereich unter Berücksichtigung und in Abhängigkeit von den bodenkundlichen Gegebenhei-

ten, wie z. B. Bodensubstrat und Wasserhaushalt, erweitert. Dieser bodenkundlich bestimmte Saumbereich, einschließlich des hydrogeologisch ermittelten Absenkungsgebietes, ist die Grundlage für die Festlegung des bodenkundlichen Untersuchungsgebietes.

Um betroffene Bereiche im gesamten Absenkungsgebiet, einschließlich des zuvor erläuterten Saumbereiches, ermitteln zu können, werden zuerst nach folgenden Kriterien Ausschlussflächen gebildet (s. u. a. DVGW 2008):

- Darstellung der Grundwasserflurabstände bis zu 5 m unter Gelände innerhalb des Absenkungsgebietes,
- Darstellung oberflächennaher gering durchlässiger Schichten ab einer Mächtigkeit von mindestens 3 m sowie
- Darstellung von bebauten Gebieten und größeren Wasserflächen.

Bodenkundlich weiter zu untersuchen sind die verbliebenen Flächenanteile.

5.2 Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen auf den Bodenwasserhaushalt

Auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen kann es zu einer Verringerung des pflanzenverfügbaren Wassers und somit zu einer Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums kommen, wenn eine Absenkung des Grundwassers zu einer Verringerung der kapillaren Nachlieferung aus dem Grundwasser führt. Weitergehende Hinweise zu diesem Thema sind u. a. bei RENGER et al. (1974, 1984), RENGER & WESSOLEK (1990), MULL (1987), RENGER, WESSOLEK & RIEK (1996), LEHNHARDT & BRECHTEL (1980, 1985), DVWK (1999a) und DVGW (2008) zu finden. Zunächst werden Kennwerte zum Wasserhaushalt erfasst, mit denen eine Beurteilung der Auswirkungen der Grundwasserentnahme auf die Vegetation abgeschätzt wird. Welche Böden wie stark betroffen sind, hängt vom Anteil des kapillaren Aufstiegs an der gesamten Wasserversorgung der Pflanze ab. Eine wichtige Größe für die Beurteilung von Grundwasserabsenkungen ist die von der Bodenart und der effektiven Lagerungsdichte abhängige kapillare Aufstiegshöhe aus dem Grundwasser. Wachstumsbeeinträch-

tigungen sind insbesondere bei folgenden Konstellationen zu vermuten:

- Es tritt eine Absenkung oberhalb des Grenzflurabstands auf: Grundlage ist die Beurteilung des tatsächlichen, durch Grundwasserentnahme eingetretenen Absenkungsbetrages. Aus den kapillaren Aufstiegs Mengen vor der Absenkung und der Menge nach Absenkung ist die Differenz zu ermitteln. Hieraus ergibt sich der Grad der Betroffenheit.
- Es bestand Grundwasseranschluss in der Vegetationszeit vor der Grundwasserabsenkung, d. h. die Grundwasserstände vor der Absenkung lagen oberhalb des für eine minimale Wasserversorgung erforderlichen Grundwasserflurabstandes (Grenzflurabstand). Die Aufstiegshöhe aus dem Grundwasser bei Grenzflurabstand stellt den Grenzwert dar, bis zu dem der kapillare Aufstieg noch eine Bedeutung haben kann bzw. eine minimale Wassernachlieferung aus dem Grundwasser gerade noch gewährleistet ist. Dieser Flurabstand ergibt sich aus der effektiven Durchwurzelungstiefe (W_e) (AD-HOC-AG BODEN 1994, 2005; RAISSI, MÜLLER & MEESENBURG 2009, Geofakten 9) sowie der kapillaren Aufstiegshöhe an die Untergrenze W_e . Bis zu diesem berechneten Flurabstand ist eine minimale Wassernachlieferung aus dem Grundwasser möglich (0,3 mm/d bei pF 4, Grenzflurabstand).
- Es besteht ein Bedarf an kapillar aufsteigendem Grundwasser, da die nutzbare Feldkapazität zur Wasserversorgung nicht ausreicht. Wenn im Laufe der Vegetationszeit die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge 50 % der nFK W_e unterschreitet, muss mit einer Einschränkung der Transpiration gerechnet werden (RENGER & STREBEL 1982, WESSOLEK, RENGER & STREBEL 1987, WESSOLEK et al. 1988). Die Frage nach dem Bedarf an kapillar aufsteigendem Wasser kann deshalb durch einen Vergleich der Hälfte der nutzbaren Feldkapazität (nFK/2) der Böden mit dem klimatisch bedingten Wasserbilanzdefizit in der Vegetationsperiode (KWB = Niederschlag minus Verdunstung) beantwortet werden. Ein zusätzlicher Wasserbedarf besteht, wenn die Wasserversorgung, ausgedrückt als KWBV, nicht mehr aus dem Bodenwasserspeicher (nFK/2) gedeckt werden kann. Je größer das Defi-

zeit in der Vegetationszeit ist, je stärker somit die nutzbare Feldkapazität beansprucht wird, umso größer ist die Bedeutung von kapillar aufsteigendem Wasser. Es sollte zwischen dem Bedarf an kapillar aufsteigendem Wasser in durchschnittlich feuchten Jahren und in überdurchschnittlich trockenen Jahren unterschieden werden. Grundlage der Kalkulation sind die Klimadaten und die zu ermittelnden maximalen klimatischen Wasserbilanzdefizite unterschiedlicher Häufigkeiten und deren Überschreitungswahrscheinlichkeiten. Die Bewertung der klimatischen Situation eines Standortes sollte möglichst auf Grundlage eines dreißigjährigen Zeitraumes erfolgen. Der Referenzzeitraum ist 1961–1990 (DWD). Bei Bedarf können andere Zeitspannen, z. B. von 1979 bis 2008, berücksichtigt werden. Unter durchschnittlich feuchten und trockenen Jahren wird verstanden, dass alle zwei Jahre in kulturspezifischen Vegetationszeiträumen der Medianwert zugrunde gelegt wird. Für die trockenen Jahre soll das 20. Perzentil entsprechend einer Eintrittswahrscheinlichkeit alle fünf Jahre herangezogen werden, um die kulturspezifische klimatische Wasserbilanz für die Vegetationszeiträume zu ermitteln. Als Hauptwachstumszeit werden für Getreide etwa Mitte Mai bis Mitte Juli (ca. 60 Tage), für Hackfrüchte und Mais Mitte Juni bis Mitte September (ca. 90 Tage) und für Grünland Mitte Mai bis Mitte September (ca. 120 Tage) angenommen (MÜLLER 2004). Nach SCHLÜTER (1983) kann der Wasserbedarf eines Waldes mit dem intensiv genutzter Grünlandflächen gleichgestellt werden. Dieser Bedarf muss ermittelt werden.

- mögliche Beeinträchtigung von Feuchtgebieten: Neben der Möglichkeit der Ertragsbeeinträchtigung land- und forstwirtschaftlicher Kulturen ist im Zuge der bodenkundlichen Beweissicherung auf die Veränderung der Standortqualität insbesondere in Feuchtgebieten zu achten. Grundlage der Beurteilung aus bodenkundlicher Sicht ist die Bodenkundliche Feuchtestufe (MÜLLER 2004). Böden der Feuchtestufen 9–11 sind danach als Feuchtestandorte zu klassifizieren. Alternativ kann die Standortkundliche Feuchtestufe (AD-HOC-AG BODEN 1994, 2005) herangezogen werden. Ein weiteres Verfahren ist die vegetationsökologische Be-

weissicherung (EDIN 19686 (DIN 2002)). Hier werden durch Vegetationsaufnahmen Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung festgestellt und in Verbindung mit Eingriffen gebracht. Grundsätzlich müssen Grundwasserabsenkungen durch Entwässerung (z. B. durch kulturbau technische Maßnahmen) und Grundwasserentnahme (z. B. durch Wasserwerke) unterschieden werden (RAISSI & MÜLLER 2009a, Geofakten 5).

5.3 Ermittlung von Grundwasserabsenkungen mit bodenkundlichen Methoden

Bei ungestörten Grundwasserböden korrespondieren oft hydromorphe Horizontmerkmale wie Rostflecken oder Reduktionsfarben und die angetroffenen Grundwasserstände miteinander. Im Schwankungsbereich des Grundwassers werden gelöste zweiwertige Eisen- und Manganverbindungen in dreiwertige Verbindungen überführt. Dadurch entstehen Flecken und Konkretionen unterschiedlicher Färbung. Sie sind typisch für hydromorphe Horizonte. Die Erscheinungsarten der Hydromorphie-merkmale sind in Tabelle 4 dargestellt:

Tab. 4: Horizontdifferenzierende Eisen- und Manganverbindungen in hydromorphen Böden (AD-HOC-AG BODEN 1994, 2005).

Merkmale	
oxidiert / Go-Horizont	reduziert / Gr-Horizont
Eisen-(Mangan-)verbindungen	Eisenverbindungen
Oxide, Hydroxide	gebleicht
dunkelrostfarben	grüngrau bis blaugrau
hellrostfarben	türkisfarben bis grün
ockerfarben	schwarz bis schwarzgrün
braunschwarz (manganführend)	

In Grundwasserabsenkungsgebieten mit einem Grundwasserstockwerk, in denen Eingriffe in den Bodenwasserhaushalt vor 10–15 Jahren erfolgt sind, tritt häufig eine Merkmalsüberlagerung der grundwasserzeichnenden Horizonte Go und Gr auf (s. Tab. 4). Dies wird durch die Grundwasserabsenkung verursacht. Ehemalige Merkmale (Eisen- und Manganflecken) des Go-Horizontes (Oxidationshorizont) sind durch die eintretende Belüftung im ehemaligen Gr-Horizont (Reduktionshorizont) zu finden. Durch Beschreibung dieser für grundwasserbeeinflusste Böden typischen Merkmale am Bodenprofil im Gelände lässt sich die Grundwasserabsenkung abschätzen.

Besonders die dunkelrostfarbenen Verbindungen der höheren Oxidationsstufen werden bei den üblichen jahreszeitlichen Grundwasserschwankungen nicht wieder reduziert, so dass der Go-Horizont dem tatsächlichen Schwankungsbereich bzw. bei Grundwasserabsenkungen dem früheren Schwankungsbereich entspricht.

Aus der Intensität der Eisenfleckung kann bei ähnlicher Eisenführung des Grundwassers auf die Häufigkeit von Grundwasserschwankungen geschlossen werden. Intensität und Dauer der Durchlüftungsphase gehen aus der Farbe der Eisenflecken (Oxidationsstufe) hervor. Harte Konkretionen können nur bei intensiver und lang andauernder Durchlüftung unter der Voraussetzung entstehen, dass das Grundwasser oder auch Überflutungswasser genügend Eisenverbindungen heranzuführt.

Wenn im Bereich des Go-Horizontes zeitweilig reduzierende Bedingungen herrschen, ist dies an stellenweise und meist fleckig auftretenden reduzierten türkisfarbenen bis schwarzen Eisenverbindungen im Bereich organischer Substanz, z. B. an Wurzelbahnen, zu erkennen. Stärkere Reduktionen werden im unteren Bereich des Ah-Horizontes durch intensive Graufärbung angezeigt. Ist es unklar, ob die Eisenfärbung aus rezenten oder reliktschen Grundwasserständen resultiert, können Feo-/Fed¹-Analysen durchgeführt werden. Überwiegt der Fed-Anteil, so ist von Grundwasserabsenkung auszugehen, da der Anteil frisch gebildeter (neuerer) Eisenanteile (Feo) geringer ist.

¹ Feo: oxalatlösliches Eisen,
Fed: dithionitlösliches Eisen.

Sehr tiefe Grundwasserstände in hydromorph geprägten Böden – oft weit unterhalb der Go-/Gr-Horizontgrenze – sind durch Grundwasserabsenkungen verursacht. Sauerstoffreiches Grundwasser bedingt häufig rostfarbene Eisenflecken im ständig von Grundwasser erfüllten Gr-Bereich. Dabei können reliktsche Eisenflecken auftreten, die nicht mehr den aktuellen Wasser- und Lufthaushalt wiedergeben.

Darüber hinaus lassen sich auch die entnahmebedingten Grundwasserabsenkungsbeträge durch jährliche Veränderungen der Grundwasserentnahmemenge gegenüber dem natürlichen Zustand durch einen Vergleich vor und nach dem Grundwassereingriff im Bohrgut (Verhältnis zwischen angetroffenem Grundwasserstand z. Zt. der Bodenaufnahme zu den Go-/Gr-Merkmalen) feststellen.

Als Bezugspunkt zur Beurteilung der Auswirkungen auf Sommergetreidepflanzen sollte der mittlere Grundwasserstand (MGW) zur Anwendung kommen. Hierbei werden mittlere Grundwasserstände für die Ackerflächen mit Sommergetreideanbau während des Vegetationszeitraumes von Mitte Mai bis Mitte Juli herangezogen. Die Berechnung und Ableitung der Bodenkennwerte des Bodenwasserhaushaltes wird ebenfalls auf den mittleren Grundwasserstand bezogen. Mittlere Grundwassertiefstände (MNGW) werden für alle anderen landwirtschaftlichen Kulturen zugrunde gelegt.

5.4 Vorgehensweise bei der Ermittlung der Grundwasserabsenkungsbeträge

- Auffinden des aktuellen, nicht abgesenkten Grundwasserstandes im Boden: An den relevanten Bodenprofilen außerhalb des Absenkungsgebietes (Referenzgebiet) muss die aktuelle Untergrenze des Go-Horizontes bzw. die Obergrenze des Gr-Horizontes festgestellt werden. Dies muss für alle im Absenkungsgebiet vorhandenen Bodentypen mit relevantem Grundwassereinfluss geschehen.

- Auffinden des aktuellen abgesenkten Grundwasserstandes im Boden:
An den relevanten Bodenprofilen innerhalb des Absenkungsgebietes muss die Untergrenze des jetzigen Go-Horizontes bzw. die Obergrenze des Gr-Horizontes (z. B. durch angetroffenes Wasser im Bohrgut) festgestellt werden.
- Ermittlung der Absenkung:
Durch Vergleich der ehemaligen Go-Horizonte (z. B. in den Referenzgebieten) bzw. durch Identifizierung der ehemaligen Go-Horizonte am abgesenkten Bodenprofil im Absenkungsbereich kann die Absenkung (in dm) errechnet werden.

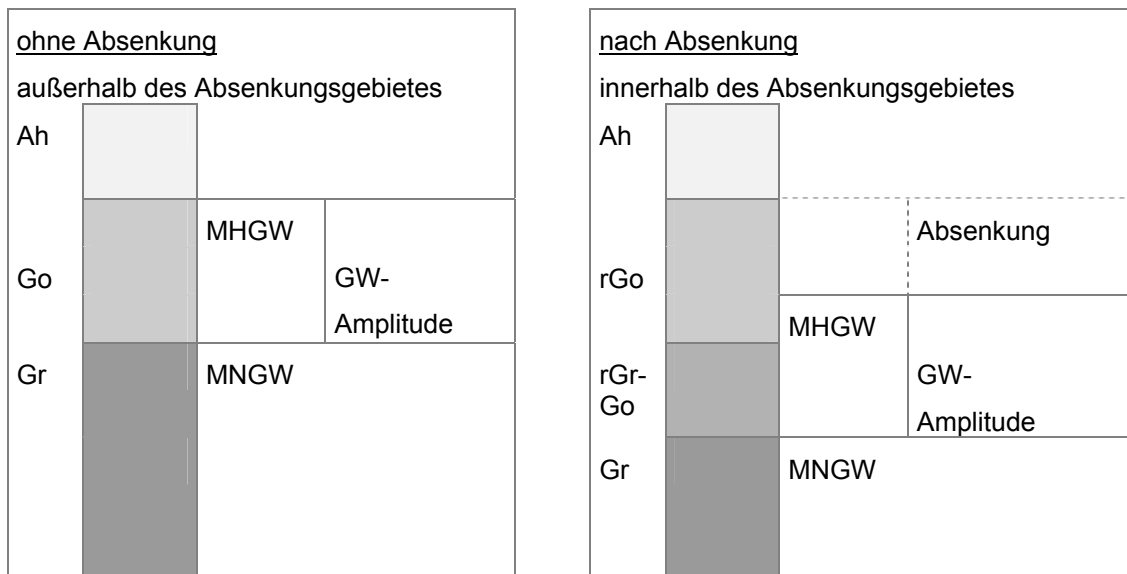


Abb. 10: Schematische Darstellung eines rezenten und eines reliktschen Gleybodens (RAISSI & MÜLLER 2009a, Geofakten 5).

- Ah = A-Horizont, h = humusangereichert,
- Go = G-Horizont (Mineralbodenhorizont mit Grundwassereinfluss), nachgestelltes Zusatzsymbol o = oxidiert,
- Gr = G-Horizont (s. o.), nachgestelltes Zusatzsymbol r = reduziert (ständig wassererfüllt),
- rGo = G-Horizont (s. o.), nachgestelltes Zusatzsymbol o = oxidiert, vorangestelltes Zusatzsymbol r = reliktsch,
- MHGW = mittlerer Grundwasserhochstand, MNGW = mittlerer Grundwasserniedrigstand, GW = Grundwasser.

Hinweise

Bei eigener Bodenkartierung lässt sich neben dem Bodentyp auch der Grundwasserstand im Bohrloch bzw. im Bohrgut zur Zeit der Bodenaufnahme feststellen. Dieser Grundwasserstand muss zur aktuellen Witterung durch Vergleich mit einer unbeeinflussten Grundwasser messsstelle (Referenzgebiet) in Beziehung gesetzt werden. Hierdurch kann festgestellt werden, ob es sich im Augenblick der Kartierung um einen Grundwasserhochstand oder um mittlere oder tiefe Grundwasserstände handelt (s. Abb. 10).

In der nordwestdeutschen Tiefebene werden bei sandigen Bodensubstraten oft Grundwasseramplituden von ca. 7–8 dm beobachtet (s. GEHRT & RAISSI 2008, Geofakten 20). Die Erkenntnisse über die Grundwasseramplitude in anderen Gebieten mit ähnlichen Gegebenheiten ohne Grundwasserabsenkungen und Einholen von Grundwasserstandsmessungen des Gewässerkundlichen Landesdienstes können als Hilfsmittel für die Einschätzung der aktuellen Go-Oberkante hilfreich sein.

Die Erfassung der Eisen- und Manganfleckung in den grundwasserbeeinflussten Go- und Gr-Horizonten im Gelände ist von herausragender Bedeutung.

5.5 Anteilige Grundwasserabsenkungen

Aufgrund der bodenkundlichen Bestandsaufnahme kann das Untersuchungsgebiet je nach Anzahl der Verursacher von Grundwasserabsenkungen in drei und mehr Zonen eingeteilt werden. Dadurch wird es möglich, anteilige Grundwasserabsenkungsbeträge durch Grundwasserentnahme und durch Entwässerungsmaßnahmen zu ermitteln.

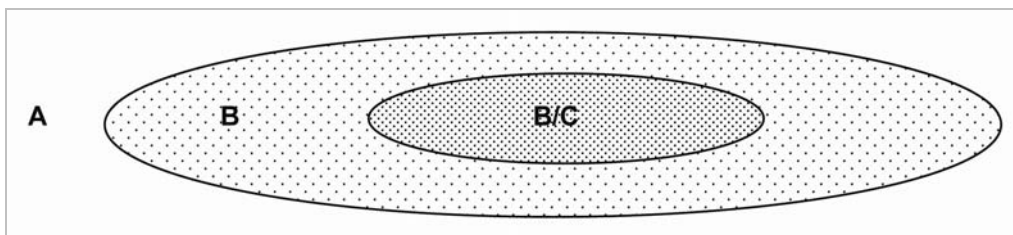


Abb. 11: Zoneneinteilung des Untersuchungsgebietes (RAISSI & MÜLLER 2009a, Geofakten 5).

- Zone A Gebiete ohne Grundwasserabsenkung mit natürlichen Grundwasserverhältnissen,
- Zone B Gebiete mit abgesenktem Grundwasser durch Entwässerungsmaßnahmen oder Bodennassabbau,
- Zone B/C Gebiete mit abgesenktem Grundwasser durch Grundwasserentnahme, z. B. durch Wasserwerke, und durch Entwässerung oder Bodennassabbau.

Im Bereich der Zone B/C kann eine Ermittlung anteiliger Grundwasserabsenkungsbeträge erfolgen (s. Abb. 11). Voraussetzung für die Ermittlung der einzelnen Anteile ist, dass die Eingriffe in den Bodenwasserhaushalt separat voneinander untersucht werden. Zur Abschätzung des Einflusses der Vorfluter auf den Grundwasserstand stehen zwei praktikable Ansätze zur Verfügung. Beide Verfahren sollten zur Absicherung der Ergebnisse durchgeführt werden.

Feldmethode

Anhand des Gewässerplanes (zu entnehmen z. B. der topographischen Karte) oder Ausbau- bzw. Landbauplänen (bei den Ämtern für Geo-information, Landentwicklung, Liegenschaften (GLL) oder der Landwirtschaftskammer erhältlich) und eigener Geländeuntersuchungen las-

sen sich durch mehrere senkrecht zu den Gräben in engen Abständen niedergebrachte Handbohrungen (die Bohrtiefe richtet sich nach der Tiefe der Grabensohle) die Auswirkungen und Reichweite der Grabenentwässerung feststellen. Dabei werden das Ausmaß der Absenkung, bezogen auf die Nullabsenkung, und die jeweilige Entfernung zum Graben erfasst.

Durch langjährige Erfahrungen in Entwässerungsgebieten konnte z. B. für Sande ermittelt werden, dass bei einer Grabentiefe von ca. 20 dm in sandigen Bodensubstraten beidseitig der Vorfluter jeweils bis zu einem Abstand von 10 m eine mittlere Grundwasserabsenkung von 7–10 dm festgestellt werden kann. In einer Entfernung von 10–30 m vom Graben beträgt die Grundwasserabsenkung 4–6 dm, bei 30–75 m Entfernung vom Graben jeweils 3–5 dm, bei 75–120 m 4–1 dm und bei 120–200 m Entfernung nur noch 2–0 dm (s. Abb. 12).

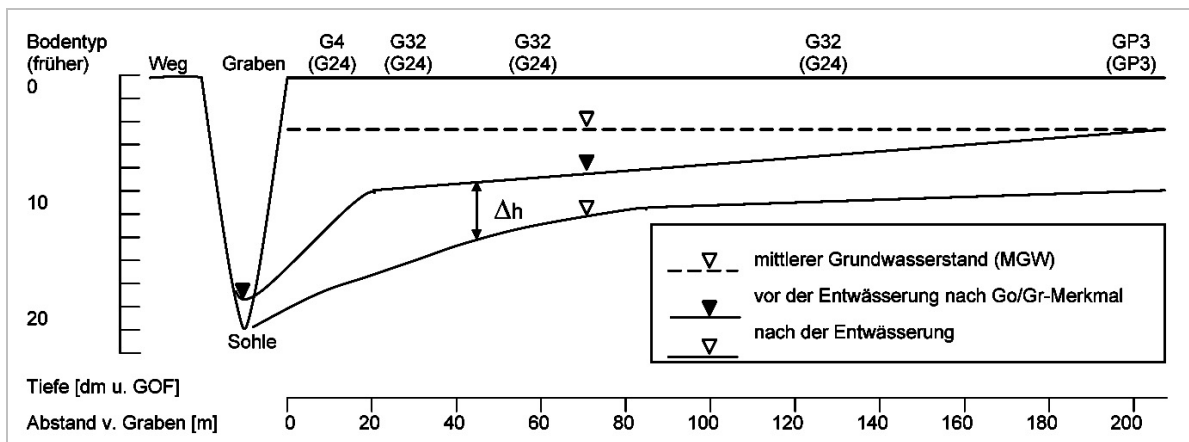


Abb. 12: Einfluss des Grabenausbaus auf den Bodenwasserhaushalt (RAISSI & SPONAGEL 1987).

Dieser Sachverhalt stimmt auch gut mit der Anlegung des Gewässerplanes und der Acker Schlagbreite von ca. 400–500 m überein. Größere Absenkungen können dann auf Wasserentnahmen, z. B. durch Wasserwerke, zurückgeführt werden. Die Voruntersuchung erfolgt zunächst in Zone B. Die Hauptuntersuchungen erfolgen jedoch in der Zone B/C (s. Abb. 11).

Erst bei einer genauen Feldkartierung der Grabenrandstreifen (Zone A) und durch Vergleich der ermittelten Absenkungsbeträge mit berechneten bzw. abgeschätzten Werten der Entwässerungswirkung ist eine Differenzierung der Grundwasserabsenkungen durch Grundwasserentnahmen oder durch Entwässerungsmaßnahmen möglich.

Empirisches Verfahren

Die Einflussweite der Grabenentwässerung lässt sich außerdem durch ein empirisches Verfahren nach EGGELSMANN (1981a, b) und KUNZE & EGGELSMANN (1981) berechnen:

$$L = 200 \cdot h \cdot K_f \quad (\text{Gl. 5})$$

L = Einflussweite der Grabenentwässerung [m],
Breite der Schutzzone,

h = geplante Ausbautiefe/Wassertiefe
im Graben, Grabentiefe (Sohle) [m],

K_f = Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten
Boden [m/d] nach DIN 4220 (DIN 2008).

Nach dieser Berechnungsmethode ergibt sich z. B. bei 22 dm Grabentiefe und einem K_f -Wert von 0,6 m/Tag für Sandböden eine maximale Einflussweite von ca. 260 m (RAISSI & MÜLLER 2009a, Geofakten 5).

Der empirische Ansatz von EGGELSMANN (1981a, b) hat eine gute Übereinstimmung mit der Geländemethode ergeben. Die Geländemethode hat den Vorteil, dass im Gelände sofort Rückschlüsse gezogen und entsprechende bodenkundliche Abgrenzungen auf dem Feldblatt oder der Konzeptkarte vorgenommen werden können.

Grundlage für die o. g. empirische Berechnung nach EGGELSMANN ist der K_f -Wert nach DIN 4220 (DIN 2008) und AD-HOC-AG BODEN 2005. Mit Hilfe hydrogeologischer Methoden ermittelte Durchlässigkeitsbeiwerte können bei dem o. g. bodenkundlichen Verfahren nicht verwendet werden. Die Einflussweite der Grabenentwässerung würde mit diesen Werten nicht zutreffend berechnet.

In der Regel ist ein deutlicher Einfluss der Grabenentwässerung auf den Grundwasserstand in den Böden bis zu einer Entfernung von 100–200 m zu erwarten. Im Zusammenhang mit der Klärung von Entschädigungs- und Beweissicherungsfragen sollte daher dieser Bereich nicht in das Beweissicherungsverfahren einbezogen werden. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei der Ermittlung der Einflussreichweite zu widmen.

5.6 Anforderungen bei Grundwasserentnahmen für die Feldberegnung

Die grundsätzlichen Anforderungen an Wasserrechtsanträge zur Grundwasserentnahme aus bodenkundlicher Sicht wurden bereits dargelegt. Bei Entnahmen für die Feldberegnung sind zur Einschätzung der Beregnungsbedürftigkeit, zur Beregnungssteuerung und zur Beurteilung der Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes durch die Beregnung bzw. die Grundwasserentnahme außerdem die folgenden Hinweise zu beachten.

Das bodenkundlich zu untersuchende Gebiet umfasst die beantragten Beregnungsflächen sowie das hydrogeologisch ermittelte Absenkungsgebiet, soweit dort entnahmebedingte Änderungen im Bodenwasserhaushalt nicht sicher auszuschließen sind. Für das Untersuchungsgebiet sollten flächendeckend folgende Angaben in einem Gutachten mit Boden- und Auswertungskarten im Maßstab 1 : 5 000 zusammengestellt werden (JOSOPAIT, RAISSI & MÜLLER 2009, Geofakten 3):

- flächenhafte Verbreitung der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Böden (Standortbeschreibung), dabei Einbeziehung bereits vorliegender Ergebnisse der Bodenschätzung und Geologie (AD-HOC-AG BODEN 1994, 2005; DIN 4220 (DIN 2008)).
- Kennzeichnung des Wasserhaushaltes der erfassten Böden:
nutzbare Feldkapazität (nFK), Betrag des kapillaren Aufstiegs (KA) von Grundwasser in die durchwurzelte Zone in der Vegetationsperiode, Durchwurzelungstiefe (We), gesamt pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl = nFKWe + KA). Liegen keine anderen Erkenntnisse vor, können als Berechnungszeiträume für ertragswirksamen kapillaren Aufstieg im Durchschnitt bei Getreide 60 Tage (Mitte Mai bis Mitte Juli), bei Hackfrüchten 90 Tage (Mitte Juni bis Mitte September) und bei Grünland 120 Tage (Mitte Mai bis Mitte September) angenommen werden (MÜLLER 1997, 2004).
- Bodennutzung, Dünge- und Fruchtfolgepläne über einen Zeitraum von sechs Jahren (zwei Fruchtfolgen).
- Klimadaten:
Niederschläge des Sommerhalbjahres und

der kulturspezifischen Vegetationszeit, Verdunstung nach HAUDE (1954, 1955) bzw. Gras-Referenzverdunstung (FAO, ATV-DVWK 2002), klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode bei 50 % Häufigkeit (alle zwei Jahre) sowie bei 20 % Häufigkeit (alle fünf Jahre).

- Beregnungsbedürftigkeit:
Ein boden- und kulturspezifischer Bedarf an kapillar aufsteigendem Grundwasser oder an Zusatzberegnung ist dann gegeben, wenn die Hälfte des pflanzenverfügbaren Bodenwassers (nFKWe/2) als Kenngröße des Bodenwasserhaushalts geringer ist, als das frucht- und nutzungsspezifische Defizit der klimatischen Wasserbilanz (KWB) in der Vegetationszeit. Durch einen Vergleich zwischen gesamt pflanzenverfügbarem Bodenwasser und klimatischem Wasserbilanzdefizit in der Vegetationszeit für die Stationen des Deutschen Wetterdienstes lässt sich nutzungsspezifisch der Beregnungswasserbedarf ermitteln (RENGER & STREBEL 1982).
- Die Beregnungswürdigkeit wird bestimmt durch die Ertragsleistungen der angebauten Kulturen und deren Vermarktungsmöglichkeiten.
- Beregnungsgaben:
Der Einsatz hoher Einzelgaben (> 30 mm) kann in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort zu einer vermehrten Versickerung führen.

Tab. 5: Maximale Einzelberegnungsgaben in mm (nach WESSOLEK et al. 1988).

Bodenarten	Zucker- rüben	Getreide	Grünland
gsmS	15	15	15
mS	25	20	20
fsmS	35	30	25
fS	40	35	30
Sl, Su	45	40	35

- Beregnungssteuerung:
Die Beregnungssteuerung richtet sich nach dem Bodenwassergehalt. Dieser kann direkt durch Messung der Bodenfeuchte oder der Wasserspannung mit Tensiometern ermittelt werden.
- Abschätzung der Grundwasserabsenkung durch Entnahme von Beregnungswasser,

dabei Beurteilung der Auswirkungen der entnahmebedingten Grundwasserabsenkungen auf die umliegenden Bodennutzungen (JOSOPAIT, RAISSI & ECKL 2009, Geofakten 1).

6 Dokumentation der Ergebnisse

Zur Beschleunigung der Prüfung und fachlichen Bewertung von Antragsunterlagen sowie zur Sicherung einer konstanten Bearbeitungsqualität sollte der Antragsteller bzw. Gutachter zumindest folgende Daten digital aufbereitet zur Verfügung stellen:

- Die vollständigen Informationen zu Brunnen und Grundwassermessstellen (Schichtenverzeichnisse, Ausbaudaten, Grundwasserstände, Bohrlochmessungen) müssen dem Erfassungsformat SEP3 des LBEG entsprechen (möglichst ACCESS[®]-Datenbank). Eine Formatbeschreibung von SEP3 findet sich auf den Internetseiten des LBEG. Das Erfassungsprogramm GEODIN[®]-SHUTTLE mit vorinstalliertem SEP3 wird ebenfalls dort vom LBEG kostenfrei zur Verfügung gestellt. Um eine einfache Recherchierbarkeit der Daten in der LBEG-Bohrdatenbank von Niedersachsen zu erreichen, sollten innerhalb eines Wasserrechtsprojektes die Datenfelder Aufschlusskurzbezeichnung (AKBEZ) und Projektbezeichnung (PROJEKT) mit einer einheitlichen Kennung, z. B. dem Wasserwerksnamen, versehen werden.
 - Einzugsgebiet (ArcView[®]-/ArcGis[®]-Shape-Polygone).
 - Grundwassergleichenpläne (ArcView[®]-/ArcGis[®]-Shape-Polyline oder ein anderes von ArcView[®] unterstütztes Format einschließlich Punkt-Shape der für die Erstellung der Gleichenpläne verwendeten Grundwassermessstellen).
 - Reichweite und Höhe der Absenkung (ArcView[®]-/ArcGis[®]-Shape-Polyline bzw. Rasterdaten).
 - Flurabstandskarten (ArcView[®]-/ArcGis[®]-Shape-Polyline bzw. Rasterdaten).
- Hydrogeologische Schnitte (TIF-Datei, gegebenenfalls GEODIN[®]-Grafikformat oder anderes gängiges Bildformat).
 - Analysendaten sollten möglichst als ACCESS[®]-Datenbank vorliegen. Für die Beurteilung von Analysendaten ist die Kenntnis der verwendeten Methode bzw. des Verfahrens, mit dem die Daten bestimmt werden, unerlässlich. Hierzu gehören auch die Kenntnisse über die Einheit des Analyseergebnisses und die Bestimmungsgrenze des Verfahrens, ohne die eine sinnvolle Einschätzung der Fehlerbandbreiten der ermittelten Analysendaten nicht möglich ist. Nur auf dieser Basis ist eine Qualitätssicherung gewährleistet. Der Verweis auf die mit SEP3 beschriebene Probenahmestelle und -tiefe muss eindeutig sein.
 - Wasserstandsdaten sollten als EXCEL[®]-Tabelle oder ACCESS[®]-Datenbank vorliegen. Die Messwerte sind versehen mit Messdatum und -zeit in Metern zu NN anzugeben. Der Verweis auf die mit SEP3 beschriebene Messstelle und -tiefe muss eindeutig sein.

Die digitale Datenerfassung sowie im Verlauf des Verfahrens eventuell notwendig werdende Korrekturen, z. B. bei den Einzugsgebietsgrenzen, sollten möglichst nur von einer Stelle (z. B. Fachbüro) vorgenommen und die revidierten Daten an die anderen Beteiligten jeweils weitergegeben werden. Auf diese Weise wird vermieden, dass die Verfahrensbeteiligten mit unterschiedlichen Datengrundlagen arbeiten.

7 Beweisführung – Vorschläge für einen Durchführungsplan für die Beweissicherung

Jede Grundwasserentnahme ist mit Auswirkungen verbunden (s. Geofakten 1, JOSOPAIT, RAISSI & ECKL (2009); Geofakten 3, JOSOPAIT, RAISSI & MÜLLER (2009); Geofakten 5, RAISSI & MÜLLER (2009a); Geofakten 6, RAISSI & MÜLLER (2009b); Geofakten 15 und 16, HILLMANN et al. (2009a, 2009b); Geofakten 19, RAISSI et al. (2009), Geofakten 20, GEHRT & RAISSI (2008) und DVGW (2008)).

Eine Absenkung des Grundwasserspiegels durch die Förderung ist unvermeidbar; es findet auch immer ein Eingriff in den Wasserhaushalt statt. Dadurch entstehen Beeinträchtigungen unterschiedlicher Art, die zu Entschä-

digungsansprüchen führen oder die Wasserbehörden veranlassen können, das beantragte Wasserrecht nicht oder nur mit Auflagen zu erteilen. Das hydrogeologische Gutachten und die darauf aufbauenden weiteren Untersuchungen und Maßnahmen der Beweissicherung (Bodenkunde, Vegetationskunde u. a.) sollen darlegen, ob und mit welchen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, auf Natur, Landschaft, Bauwerke und auf andere Nutzungen durch die Grundwasserentnahme zu rechnen ist.

In Tabelle 6 sind beispielhaft mögliche Folgen einer Grundwasserentnahme zusammengestellt. Je nach den naturräumlichen Bedingungen und Nutzungssituationen können auch weitere Auswirkungen auftreten. Ausführliche Hinweise und methodische Erläuterungen sind der Zusammenstellung des DVWK (1982) über die Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots zu entnehmen.

Tab. 6: Mögliche Auswirkungen einer Grundwasserentnahme (JOSOPAIT 1996).

Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	Abflussminderung in Vorflutern
	Reduzierung des Grundwasserdargebots für andere Nutzer (z. B. mit der Folge einer Veränderung von Einzugsgebietsgrenzen benachbarter Fassungsanlagen)
	Flächenhafte Absenkung des Grundwasserspiegels durch Überbeanspruchung des Grundwasserdargebots
Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit	Zunahme der Mineralisation, Verschiebung von Salz-Süßwassergrenzen
Absenkung des Grundwasserspiegels	Beeinträchtigung von grundwasserstandsabhängiger Vegetation (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz)
	Absenkung des Wasserstandes in Feuchtgebieten
	Absenkung des Wasserspiegels in Brunnen anderer Nutzer
	Absenkung des Wasserspiegels von Grundwasserblänken (z. B. Badeseen, Fischteiche) und von Vorflutern
	Setzungen (Bauwerksschäden)

Nachfolgend werden die in Tabelle 6 aufgeführten potenziellen Entnahmeauswirkungen diskutiert.

Die Grundwasserentnahme stellt einen Eingriff in den natürlichen Wasserkreislauf dar. Das geförderte Grundwasser würde zumeist einem mehr oder weniger weit entfernten Vorfluter zufließen, dessen grundwasserbürtiger Abfluss um die entnommene Menge reduziert wird. Auch für andere Grundwassernutzer im Abstrombereich der Entnahmefläche kann das verfügbare Grundwasserdargebot verringert

werden. Dies kann dazu führen, dass der Verlauf der Einzugsgebietsgrenzen benachbarter Grundwasserentnahmen beeinflusst wird. Von besonderer Bedeutung ist dies, wenn ein Trinkwasserschutzgebiet betroffen ist. Wenn das Einzugsgebiet insgesamt begrenzt ist (durch hydraulische Barrieren oder durch andere Grundwasserentnahmen) führt eine zu große Entnahme zu einer Überbeanspruchung des Grundwasserdargebots mit einer großflächigen Absenkung des Grundwasserspiegels.

Eine Entnahme kann sich auch auf die Grundwasserbeschaffenheit auswirken. Im Küstengebiet kann z. B. eine Verschiebung der Süßwasser-Salzwassergrenze verursacht werden (ROGGE & JOSOPAIT 1994). Nitratreiche Wässer aus dem oberen Grundwasserbereich können in tiefere Entnahmehorizonte gelangen. Bei Deponien und Altlasten im Einzugsgebiet ist ein Zufluss von schadstoffbelastetem Grundwasser zur Fassungsanlage – auch durch Veränderung der ursprünglichen Grundwasserfließrichtung – möglich.

Die Auswirkungen der Absenkung des Grundwasserspiegels können sich nur im Absenkungsbereich (vgl. DIN 4049-3 (DIN 1994)) bemerkbar machen. Dabei sind Schäden für die Vegetation – z. B. Ertragsminderungen land- und forstwirtschaftlicher Nutzpflanzen (vgl. DVWK 1986) – nur dann möglich, wenn vor der Grundwasserabsenkung bestimmte Grundwasserflurabstände nicht überschritten wurden und Bedarf an zusätzlicher Wasserversorgung für die Pflanzen aus dem Grundwasser bestand. Für den Naturschutz wertvolle Feuchtgebiete mit Anschluss an das Grundwasser werden wegen der Abhängigkeit von Flora und Fauna vom ausreichenden Wasserangebot besonders empfindlich auf Grundwasserabsenkungen reagieren.

Innerhalb des Absenkungsbereichs können andere Entnahmebrunnen oder Quellen in ihrer Ergiebigkeit bzw. Schüttung vermindert werden oder trocken fallen. Wenn der Wasserstand von Grundwasserblänken erniedrigt wird, können Nutzungseinschränkungen z. B. bei Bädeseen oder Fischteichen auftreten. Bei Fließgewässern, die den Absenkungsbereich durchqueren, kann es zur Versickerung aus dem Fließgewässer in das Grundwasser und damit zu einer Abflussminderung oder sogar zum abschnittweisen Trockenfallen kommen. Wenn im Absenkungsbereich setzungsempfindliche Böden verbreitet sind, treten unter bestimmten Voraussetzungen Schäden an Bauwerken auf (MULL & YOUSSEF 1977).

Die durchzuführenden Untersuchungen der Beweissicherung sollen so konzipiert sein, dass sie in der Regel gesicherte Aussagen zu möglichen Auswirkungen aus wasserwirtschaftlicher, hydrogeologischer, bodenkundlicher und land- und forstwirtschaftlicher Sicht, im Hinblick auf den Naturschutz sowie für andere potenziell Betroffene und Einwender ermöglichen (DVGW 2008). Vorgaben dazu werden im wasserrechtlichen Bescheid oder in einem speziellen Durchführungsplan für die Grundwasserbeweissicherung geregelt.

7.1 Hydrogeologische Beweissicherung

Bei der Beweissicherung zur wasserrechtlichen Genehmigung von Entnahmerechten wird prinzipiell unterschieden zwischen der stets erforderlichen Grund- oder Basisbeweissicherung, bei der in angemessenem Umfang die Grunddaten über den qualitativen und quantitativen Zustand des genutzten Grundwasservorkommens und der Veränderungen erhoben werden und einer speziellen Beweissicherung, die dort erfolgen muss, wo Beeinträchtigungen oder schädliche Wirkungen z. B. für die Natur oder die Landwirtschaft nicht auszuschließen sind (Abb. 13):

Beweissicherung	
immer erforderlich:	
Basisbeweissicherung	
■ Ziel:	Überwachung des quantitativen und qualitativen Zustands des genutzten Grundwasservorkommens und der Veränderungen,
■ Messungen:	Entnahme, Wasserstände, Wasseranalysen u. a.,
■ Auswertung:	Tabellen, Diagramme, Gleichenpläne, Differenzenpläne.
zusätzlich, wenn entnahmebedingte Beeinträchtigungen nicht auszuschließen sind (gegebenenfalls befristet):	
spezielle Beweissicherung	
■ Ziel:	Ermittlung potenzieller entnahmebedingter Beeinträchtigungen (z. B. von Natur und Landschaft, Vegetation, Gebäuden, anderen Wassernutzungen),
■ Messungen:	je nach Fragestellung, z. B. ökologische Kartierung, Ertrags- und Wachstumsmessungen, Setzungen, Wasserstände,
■ Auswertung:	Darstellung und Bewertung tatsächlicher Beeinträchtigungen.

Abb. 13: Beweissicherung zur Bewilligung von Entnahmerechten (JOSOPAIT 2000).

Der erforderliche Untersuchungsumfang ist abhängig von der Reichweite und dem Ausmaß der Grundwasserabsenkung (Modellprognose) und der Beeinträchtigung mittelbar betroffener Umweltbereiche.

Die im Durchführungsplan genannten Untersuchungen werden zumindest so lange durchgeführt, bis sich der Absenkungstrichter ausreichend ausgebildet hat und so lange nachteilige Auswirkungen aus hydrogeologischer, bodenkundlicher, land- und forstwirtschaftlicher Sicht zu erwarten sind.

Für die im Durchführungsplan genannten Auflagen zur Abschätzung des Auswirkungsgrades von Grundwasserentnahmen werden in der Regel folgende Beweissicherungsmaßnahmen durchgeführt:

- Messung und Auswertung der Grundwasserstände (Monats-, Tages-, Minutenwerte, eventuell mit Datenloggern), Ermittlung der Wasserstände und Abflüsse in Fließ- und Stillgewässern (i. d. R. „Trockenwetterabfluss“) und der Klimadaten (Witterungsverhältnisse), gegebenenfalls Lysimeteruntersuchungen),
- jährliche Auswertung der Grundwasserganglinien, Darstellung von Extremwerten und der Grundwasseramplitude der (Druck-)Spiegelschwankungen,
- Erstellung der Grundwassergleichenpläne für das obere Grundwasserstockwerk für den Vegetationszeitraum zur Ermittlung der Grundwasserfließrichtung,
- bei der Grundwasserstockwerkstrennung gilt das auch für das untere Grundwasserstockwerk, jedoch werden hier im Regelfall mittlere Wasserstände zur Ermittlung der Grundwasserfließrichtung ausreichen,
- die Erstellung der Grundwasserdifferenzenpläne kann je nach Grundwasserkörper entweder jährlich oder alle drei bis fünf Jahre erforderlich sein; die Berechnung der Differenzenpläne erfolgt durch Vergleich des Istzustandes gegenüber dem Nullzustand zur Darstellung der förderbedingten Absenkung,
- Erstellung der Flurabstandspläne für die Vegetationsperiode,
- jährliche Qualitätsanalyse des Rohwassers einzelner Förderbrunnen und der Vorfeldmessstellen (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIALBLATT 2004),
- Auswertungen langfristiger Entwicklungen (5, 10, 15... Jahre) zur Überwachung (Nachweis) der langfristig gewinnbaren Wassermenge und -güte,
- Beurteilung der Auswirkungen der Grundwasserentnahme auf die Grundwasserbeschaffenheit,
- um Einschränkungen der Grundwasserfördermenge aufgrund Veränderungen der Grundwasserqualität zu vermeiden und zu vermindern, sollten zusätzliche, anlagenbezogene Grundwasseruntersuchungen zu wassergefährdenden Stoffen (kontami-

nierte Standorte, Altlasten) mit einbezogen werden,

- bei Grundwasserförderungen im Nahbereich von Süß-Salzwassergrenzen (Küstenversalzung oder Tiefenversalzung) werden in Ergänzung der Rohwasseruntersuchungen einzelner Förderbrunnen auch qualitative Untersuchungen zur Grundwasserversalzung an Sondermessstellen zur Erfassung einer eventuell nutzungsbedingt (durch Druckentlastung) initiierten Verschiebung des hydrostatischen Gleichgewichtes (Salz-/Süßwasser) im halbjährlichen Rhythmus erforderlich sein.

Anhand der ermittelten Messdaten und Erkenntnisse wird eine Überprüfung der Modell- und Prognoseberechnungen des hydrogeologischen Gutachtens vorgenommen.

Die Überwachung und die Auswirkungen der Grundwasserentnahme sind im Jahresbericht zu dokumentieren. Die Berichtsvorlage sollte zu festen Terminen erfolgen. Die oben genannten Auswertungen der Grundwasserbeweissicherungsmessungen beinhalten auch eine Erfassung sämtlicher Erhebungen und Messungen in geeigneten DV-Systemen.

Für die Datenweitergabe und das Berichtswesen sind bereits bei der Auftragsvergabe an Dritte Absprachen bezüglich Datenhaltung und der Austauschformate mit den zuständigen Stellen der wasserrechtlichen Genehmigung, den Fachbehörden und den Gutachterbüros zu treffen. Thematische Grundwasserkarten werden im Regelfall als digitale, GIS-orientierte Information weitergegeben.

Im Rahmen der im Durchführungsplan genannten Grundwasserbeweissicherungsmaßnahmen können mit Erkenntnisgewinn der fortschreitenden Beweissicherung gegebenenfalls Veränderungen und Optimierungen (z. B. Reduzierung) des Messstellennetzes vorgenommen werden.

7.2 Bodenkundliche Beweissicherung

Ein bodenkundliches Beweissicherungsgutachten dient zur Beurteilung möglicher Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes durch Grundwasserentnahme.

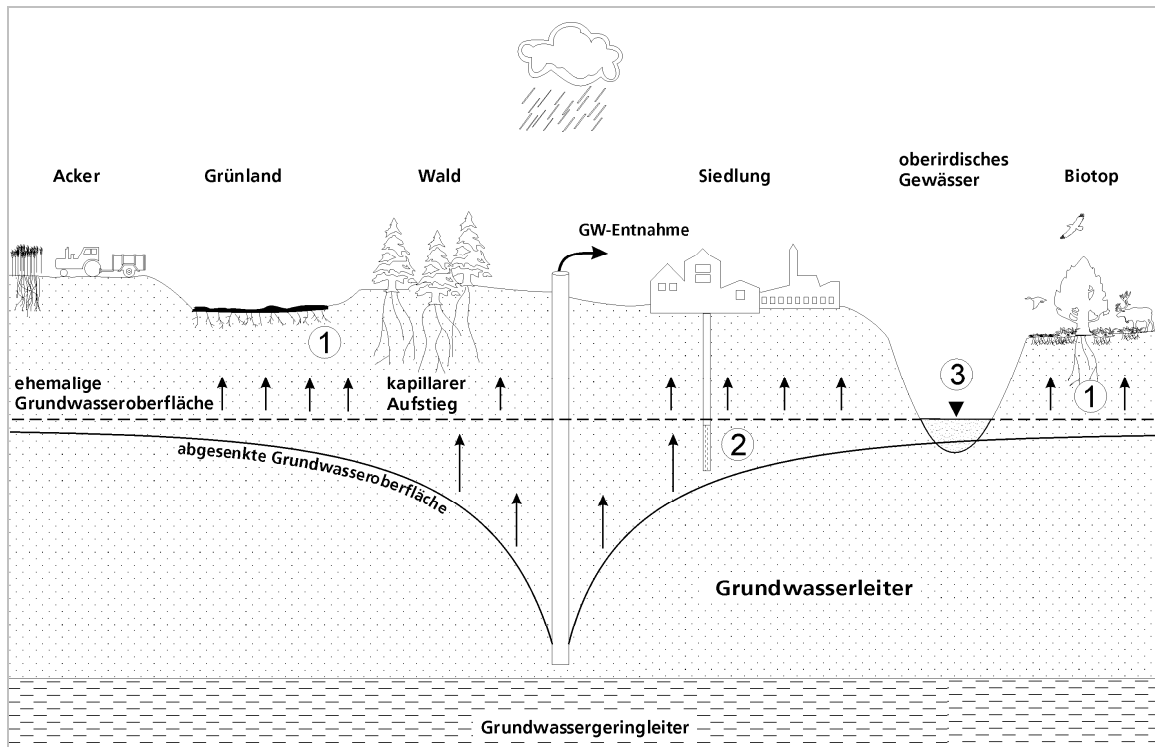


Abb. 14: Schematische Darstellung von Auswirkungen einer Grundwasserabsenkung (nach JOSOPAIT, RAISSI & ECKL 2009, Geofakten 1).

- 1: Vegetationsschäden durch Unterbrechung des Grundwasseranschlusses,
- 2: Trockenfallen flacher Brunnen,
- 3: Abflussminderung in oberirdischen Gewässern.

Die Abgrenzung des Bearbeitungsgebietes erfolgt durch die hydrogeologische Festsetzung des maximalen Absenkungsgebietes bei der beantragten Jahresentnahmemenge. Da die Entnahmemenge jährlichen Veränderungen unterliegen kann, sollten die Auswirkungen der Absenkung auf die Bodennutzung jährlich durch einen Vergleich vor und nach dem Eingriff überprüft werden. Bewirkt die Grundwasserentnahme Änderungen des Bodenwasser-

haushaltes, ist ein bodenkundliches Beweissicherungsgutachten zu erstellen. Weitere Hinweise zu Beweissicherungsverfahren finden sich in den DVWK-Merkblättern zur Wasserwirtschaft (DVWK 1986) und RAISSI & MÜLLER (2009a, Geofakten 5; 2009b, Geofakten 6), MÜLLER & RAISSI (2002), DVGW (2008) sowie HILLMANN et al. (2009a, Geofakten 15; 2009b, Geofakten 16).

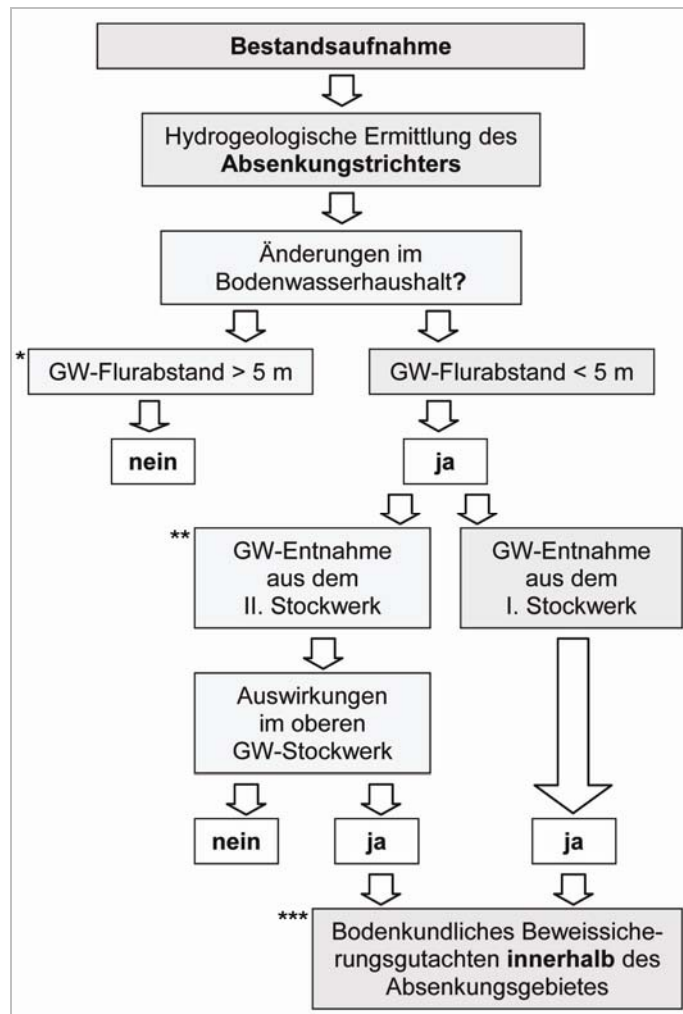


Abb. 15: Bestandsaufnahme vor der Erstellung eines bodenkundlichen Beweissicherungsgutachtens (RAISSI & MÜLLER 2009b, Geofakten 6).

* Je nach Standort und Grundwasserverhältnissen sind auch geringere Grundwasserflurabstände als 5 m unkritisch.

** Gering durchlässige Schichten, > 3 m mächtig.

*** Für bodenkundlich relevante Bereiche.

Durchführung der Beweissicherung

Grundlage für die Auswertung sind die erhobenen bodenkundlichen Daten innerhalb des maximal möglichen Absenkungsgebietes. Hier geht es um eine Prognose (vor der Entnahme bzw. bei jährlich konstanten Entnahmemengen) der Auswirkungen der entnahmebedingten Absenkungen auf die Bodennutzung (s. Abb. 14). Darüber hinaus müssen die Grundwasserflurabstände vor und nach der Absenkung in Verbindung mit Klima- und Ertragsdaten betrachtet werden (s. Abb. 15 und 16).

Da sich je nach Entnahmemengen und Witterungsverhältnissen der jährlich zu ermittelnde Absenkungstrichter ändern kann, müssen sich auch der bodenkundliche Bearbeitungsrahmen und der Zeitpunkt der Untersuchung danach richten. Die jährlichen Kenntnisse über die Witterung und die Entnahmesituationen sind für die Abschätzung der Auswirkungen auf die Bodennutzung im Zusammenhang mit den Änderungen im Bodenwasserhaushalt unerlässlich (s. Abb. 16).

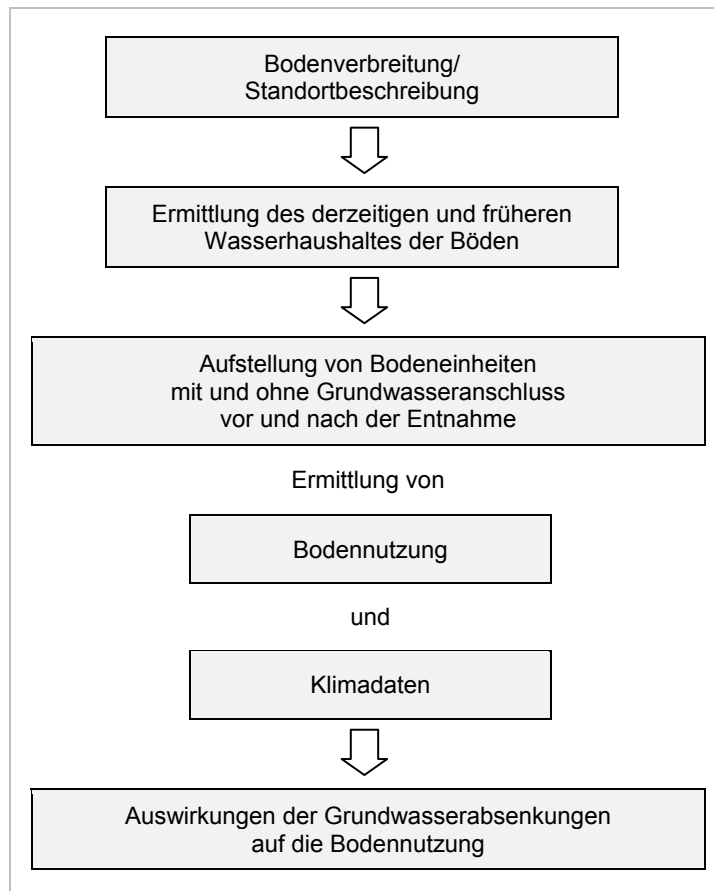


Abb. 16: Ermittlung der Auswirkungen der Grundwasserabsenkung (RAISSI & MÜLLER 2009b, Geofakten 6).

Beweissicherungskonzept und Schadensermittlung

Hinweise zur Durchführung der Beweissicherung werden in Abbildung 17 gegeben.

Grundwasserstandsmessungen

Grundwasserstandsmessungen in flachen Grundwassermessstellen sind auch dort notwendig, wo Grundwasser aus dem zweiten Stockwerk entnommen wird sowie entnahmebedingte Auswirkungen im oberen Grundwasserstockwerk nicht auszuschließen sind.

Vergleich zwischen Beweis- und Vergleichsflächen

Anhand der Bodenkartierung werden zur Bewertung der Ertragsverhältnisse von Acker, Grünland und Forst Beweisflächen innerhalb (beeinflussbarer Zustand der land- und forst-

wirtschaftlichen Flächen nach der Grundwasserabsenkung) und Vergleichsflächen bzw. Referenzflächen nach DVGW (2008) außerhalb (unbeeinflussbarer Zustand der land- und forstwirtschaftlichen Flächen wie vor der Grundwasserabsenkung) eines Grundwasserabsenkungsgebietes festgelegt. Aus bodenkundlicher Sicht muss dabei gewährleistet sein, dass

- die Beweisflächen innerhalb so ausgewählt werden, dass sie auch bei normaler Grundwasserförderung den engeren Absenkungsbereich umfassen,
- die Auswahl der Beweisflächen hinsichtlich der bodenkundlichen Faktorenkombination repräsentativ ist,
- der Boden innerhalb der Beweis- und Vergleichsfläche möglichst homogen ist,
- bei den Ertragsmustergrundstücken zu Vergleichszwecken von gleichen Boden-

verhältnissen (Bodenart, kapillare Aufstiegshöhe, nutzbare Feldkapazität, gleiche Bodennutzung, Bewirtschaftung, Fruchtfolge und Düngung) und unterschiedlichen Grundwasserständen auszugehen ist.

Bei der Auswahl der Flächen sollte weiterhin auf gute Zugänglichkeit geachtet werden. Vorgewende, alte Wege, Senken und sonstige Störungen dürfen nicht vorhanden sein.

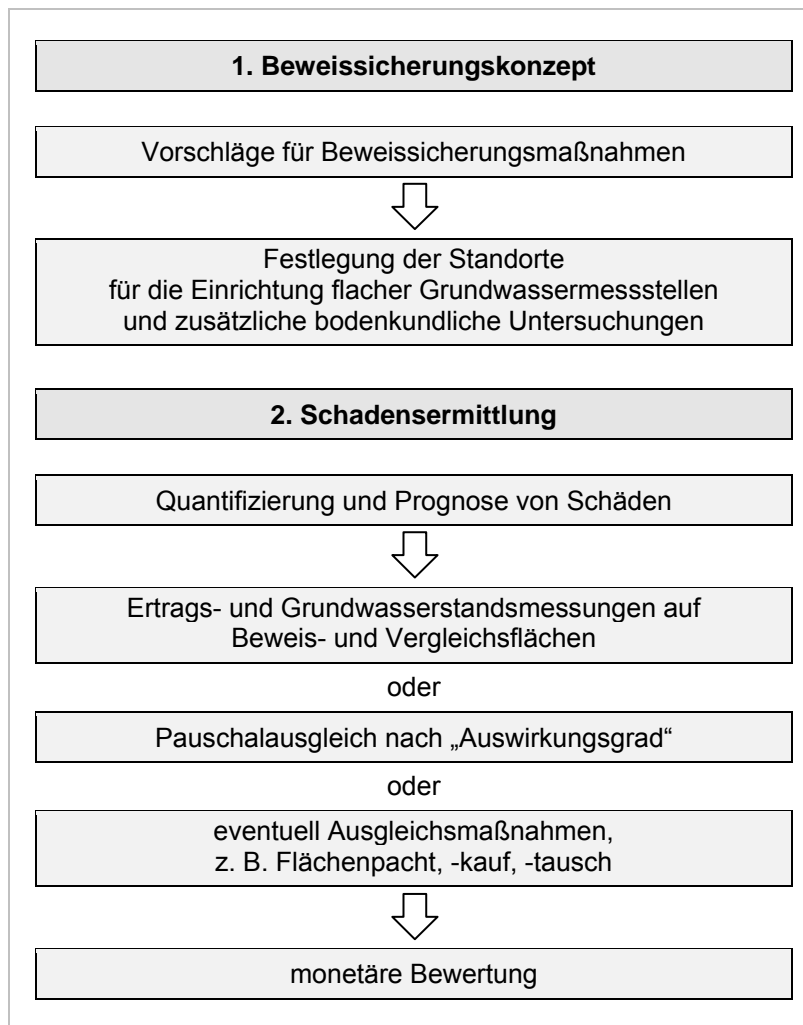


Abb. 17: Hinweise zur Durchführung der Beweissicherung (modifiziert nach RAISSI & MÜLLER 2009b, Geofakten 6).

Bei der Auswertung der Ertragsmessungen kann der Grundwassereinfluss auf den Ertrag durch einen Vergleich zwischen innen und außen ermittelt werden. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass bei der Anlage von Ertragsmustergrundstücken Bewirtschaftung, Fruchtfolge und Düngung oft nicht einheitlich gestaltet werden. Somit ist die Auswertung dieser Daten problematisch. Eine falsche Anlage der

Ertragsmusterstücke kann eine Bewertung sogar unmöglich machen.

Abschätzung des Auswirkungsgrades von Grundwasserabsenkungen

Voraussetzung für die Prognose der Ertragsbeeinträchtigung durch Grundwasserabsenkungen ist die Feststellung des Grundwasseranschlusses vor (V) und nach (N) der Grundwasserentnahme. Ein Grundwasseranschluss liegt vor, wenn kapillar aufsteigendes Wasser die Durchwurzelungszone der Vegetation erreicht (Grundwasserstände oberhalb des Grenzflurabstandes). Die Ermittlung des Auswirkungsgrades (AWG) von Grundwasserabsenkungen auf Nutzpflanzen enthält folgende Auswertungsschritte:

- Ermittlung pflanzenverfügbaren Bodenwassers ($W_{\text{pfl}} = n_{\text{FKWe}} + \text{kapillarer Aufstieg}$) vorher (V) und nachher (N),
- Bildung der Differenz $D_{W_{\text{pfl}}} = V_{W_{\text{pfl}}} - N_{W_{\text{pfl}}}$ [mm],
- Ermittlung des Auswirkungsgrades (Betrag an Bodenwasser, der für die Pflanzenproduktion nicht mehr zur Verfügung steht, nach RENGER & STREBEL 1982, MÜLLER 2004, RAISSI & MÜLLER 2009b, Geofakten 6,
- Quantifizierung des AWG (s. Abb. 18) von Grundwasserabsenkungen auf Pflanzenwachstum und Ertrag (Getreide, Zuckerrüben und Grünland) durch empirische Schätzverfahren (RAISSI & MÜLLER 2009b).

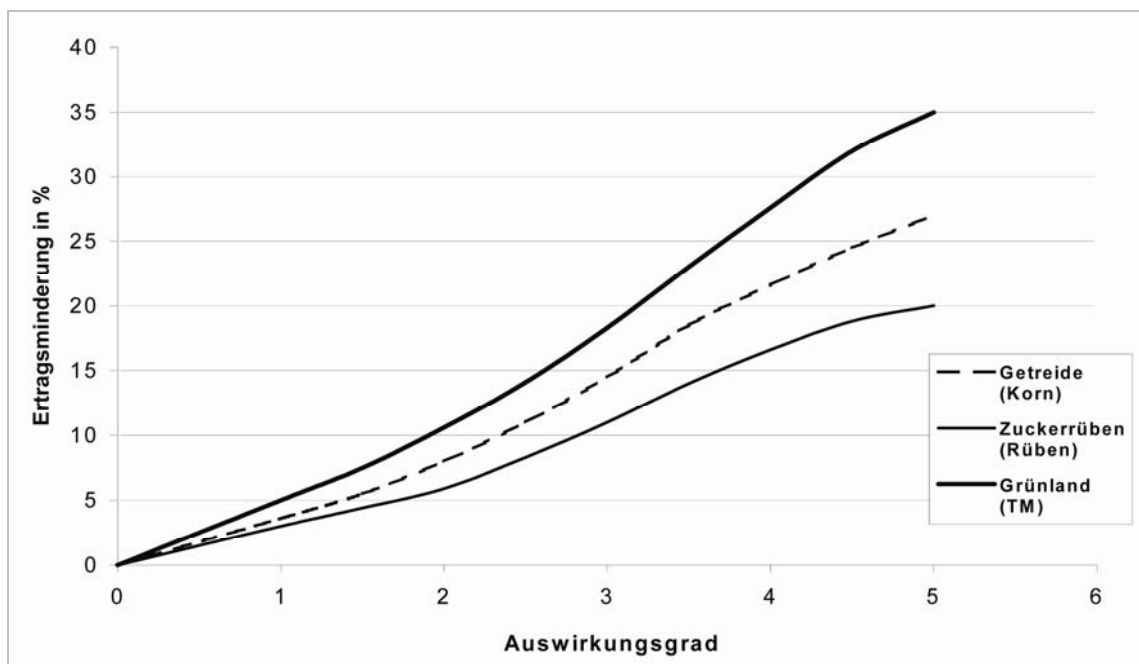


Abb. 18: Abschätzung der mittleren Mindererträge durch Grundwasserabsenkungen (RAISSI & MÜLLER 2009b, Geofakten 6).

Ob die Entschädigung pauschal für den maximal möglichen Absenkungsbereich (worst case) oder nur für den aktuellen Bereich in Frage kommt, hängt von der Fragestellung und regionalen Unterschieden ab.

Weitere Möglichkeiten zur Bestimmung des Ertrages landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in Abhängigkeit vom Wasserhaushalt bestehen in der Anwendung von Simulationsmodellen. Hier

gibt es eine Reihe von Modellen, die allerdings für die Anwendung im Routinebetrieb in der Regel noch geeicht und validiert werden müssen. Eine Abstimmung und Verknüpfung der Daten und Aussagen mit hydrogeologischer Beweissicherung ist zwingend notwendig.

7.3 Forstliche und vegetationskundliche Beweissicherung

Grundsätzlich gelten die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Vorgehensweisen sowohl für landwirtschaftliche als auch für forstwirtschaftliche Standorte. Die Vorgehensweisen bei der Schadensermittlung weichen wegen der unterschiedlichen Physiologie einjähriger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen und mehrjähriger forstwirtschaftlicher Baumbestände voneinander ab. In der Forstwirtschaft werden zurzeit noch Vitalitätsschätzungen oder Zuwachsmessungen (Analyse von Baumscheiben) angewendet (MULL 1987, DVGW 2008). Dabei gibt es häufig Probleme bei der Vergleichbarkeit von Baumart und -alter. Es wird angestrebt, für die Beziehung zwischen Baumzuwachs und Bodenwasserhaushalt vereinfachte Verfahren zu entwickeln. Eine weitere

Vorgehensweise ist die vegetationsökologische Beweissicherung (EDIN 19686 (DIN 2002)). Von der Zusammensetzung und dem Vorkommen bestimmter Arten kann auf Einflüsse, z. B. durch Grundwasserabsenkung, geschlossen werden.

Nach HILLMANN et al. (2009b) und ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (1996) ist der Zuwachs eines Baumes in Abhängigkeit von schwankenden Einflussfaktoren von Jahr zu Jahr verschieden. An einem Standort wirken sie aber ähnlich auf Bäume einer Art. Dadurch ergeben sich standorttypische und artspezifische Jahrringbreitenmuster, die einen Spiegel der Wachstumsfaktoren darstellen und als Speicher der Wuchsbedingungen vergangener Jahre dienen. Die Dendrochronologie stellt somit eine klassische Form der Bioindikation für langfristig zurückreichende Untersuchungen dar.

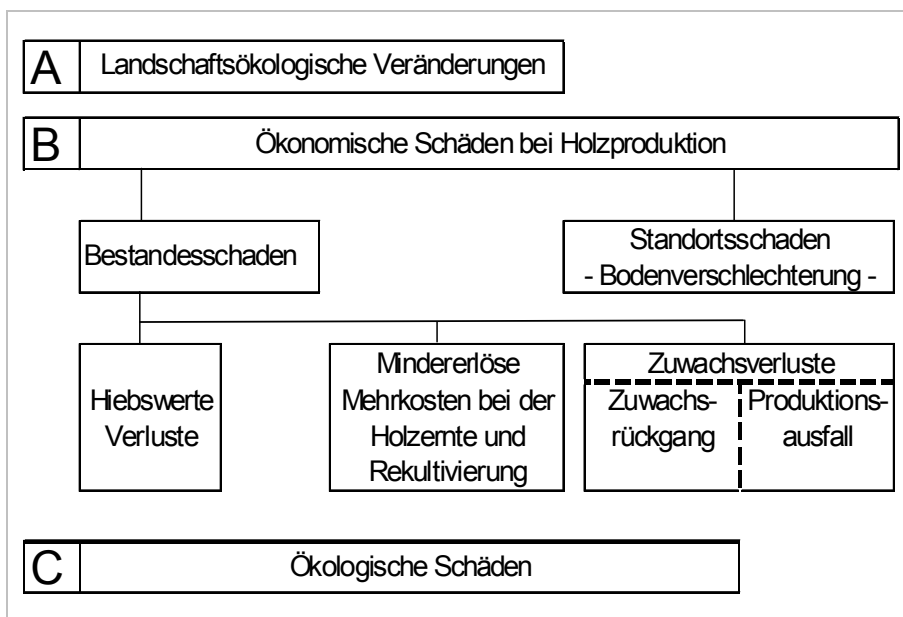


Abb. 19: Darstellung ökonomischer und ökologischer Effekte nach einer Grundwasserentnahme (geändert, nach DVWK 1986, in HILLMANN et al. 2009b, Geofakten 16).

Da eine Vielzahl von äußeren Faktoren auf das Wachstum einwirkt, ist es notwendig, diese Einflüsse voneinander getrennt darzustellen. Die Identifizierung einzelner Einflussfaktoren ist die wesentliche Aufgabe der Dendrochronologie und setzt sowohl ein schlüssiges Probe-

nahmekonzept als auch entsprechende methodische Werkzeuge voraus.

Abbildung 19 skizziert die drei potenziellen Schadensbereiche als Folge von Grundwasserabsenkungen. Im Gegensatz zu den Bereichen A und C ist der Bereich B rechnerisch

fassbar und mit einer Entschädigungssumme finanziell zu quantifizieren (DVWK 1986). Dies bedeutet nicht, dass ökologische Schäden weniger gravierend wären. Veränderungen des Standortpotenzials sind durch ein gesondertes standortkundliches Gutachten zu belegen.

Entscheidendes Kriterium für eine monetäre Fassung von Entschädigungszahlungen ist die Differenz zwischen den prognostizierten Zuwachseleistungen vor und nach einer Grundwasserentnahme.

Auftretende negative Veränderungen im Wasserhaushalt haben Defizite in der Zuwachseleistung zur Folge. Abbildung 20 stellt die Verluste in der Holzproduktion monetär in abstrahierter Form dar. Hypothese der Darstellung ist eine Grundwasserentnahme unter einem Fichtenbestand. Als Folge dieser Entnahme kommt es zu einer messbaren Verlangsamung der Wuchsdynamik in unterschiedlichen Größenordnungen analog dem Auswirkungsgrad, was zu differierenden Vorratsverlusten im Endnutzsalter führt.

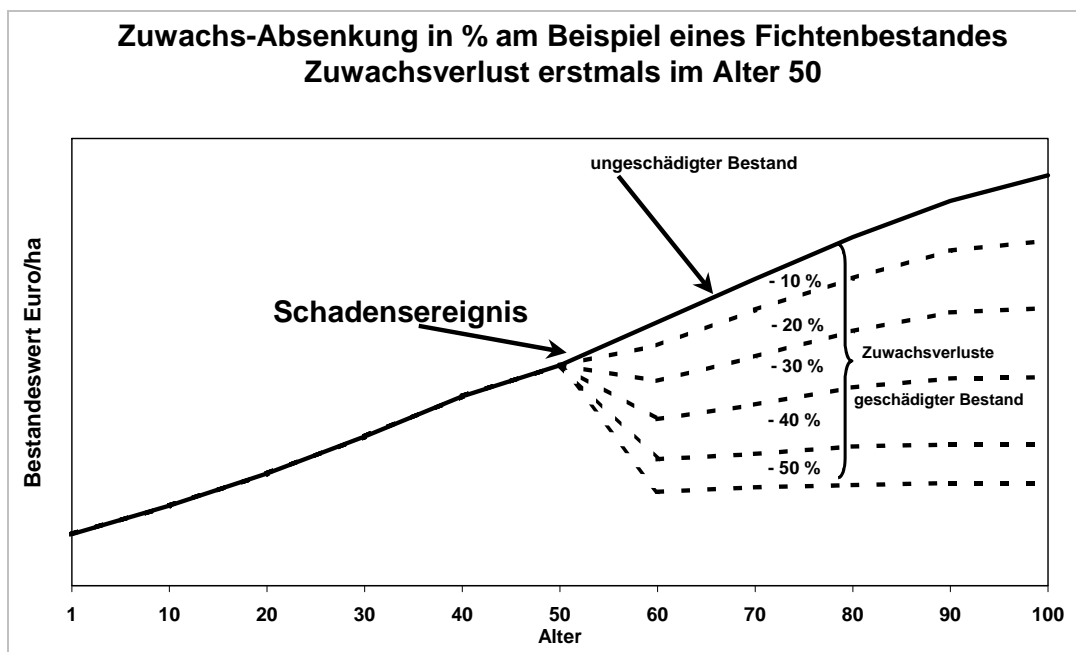


Abb. 20: Bestandserwartungswerte in Abhängigkeit vom Bestandesalter bei ungestörtem Wachstum eines Fichtenbestandes (obere Kurve) bzw. bei gestörtem Wachstum als Folge der Grundwasserentnahme, beginnend im Alter 50. Mit den unterschiedlichen Auswirkungsgraden gehen entsprechende Zuwachsverluste einher (nach HILLMANN et al. 2009b, Geofakten 16).

In der Waldwertermittlung ist die Ausformung des Endbestandes von überragender Bedeutung für die Berechnung des Bestandeswertes, der im Wesentlichen als diskontierter Wert des Endbestandes beschrieben wird. Neben dem „ungeschädigten“ Wertverlauf (oben) sind Kurvenverläufe dargestellt, die auf unterschiedlich bemessenen Zuwachsverlusten basieren. Im Falle von Zuwachsverlusten durch Grundwasserabsenkungen ist ein dendrochronologischer Nachweis erforderlich. Über den Grad der Zu-

wachsverluste kann die Beziehung zwischen Grundwasserabsenkung und Zuwachsminderung hergestellt werden.

Das geschieht baumartenspezifisch. In Abbildung 20 ist dies am Beispiel der Fichte dargestellt. Die jeweilig zu entrichtende Entschädigungshöhe wird als Differenz zwischen der S-förmig ausgebildeten, das ungestörte Bestandesleben darstellenden Kurve und den je nach Zuwachsverlusten gestaffelten Schadenskur-

ven hergeleitet. Diese ermittelten Differenzsummen wachsen mittels der holzartenspezifischen Verzinsung über die Jahre zu der Summe an, die im Endnutzungsalter den wertmäßigen Unterschied zwischen gestörtem und ungestörtem Bestandesleben bildet.

Bei Baum- bzw. Waldbeständen älter als 40 Jahre wird empfohlen, die forstlichen Ertragsminderungen auf der Basis regionaler Erträge je nach Wuchsbezirk zu ermitteln. Landesweit liegen empirische Zuwachsdaten des jeweiligen Wuchsbezirkes vor, die vergleichend herangezogen werden können. Dies setzt voraus, dass die Standortvergleichbarkeit zwischen Flächen innerhalb und außerhalb des Absenkungsbereiches durch bodenkundliche Erhebungen gewährleistet ist. Es wird vorgeschlagen, die entnahmebedingte Zuwachsminderung auf der Grundlage der Zuwachsdaten der einzelnen Wuchsbezirke auszugleichen.

7.4 Beweissicherung Bauwerke

Der folgende Text wurde der Schriftenreihe Geofakten entnommen (RAISSI et al. 2009, Geofakten 19).

Grundwasserspiegelabsenkung

Eine Grundwasserentnahme mit der daraus resultierenden Grundwasserabsenkung kann in den entwässerten Bodenschichten Setzungen oder Setzungsunterschiede initiieren. Über die Fundamentierung – beispielsweise Einzel-, Streifen- oder Plattenfundamente – werden diese Setzungen oder Setzungsunterschiede in die Bausubstanz eingetragen. Tiefgründungen, wie Pfahlgründungen etc., können durch Setzungen überbelastet werden, wenn an den Pfählen negative Mantelreibung aktiviert wird. Hölzerne Fundamentteile, wie beispielsweise historische Holzpfähle, werden – wenn sie nicht mehr von Grundwasser umgeben sind – zersetzt. In größeren Setzungsmulden treten zudem Pressungen und Zerrungen auf, so dass Verkehrswege, Versorgungsleitungen etc. Zwangsspannungen ausgesetzt sind, die zu Schäden bis hin zum Bruch führen können.

Setzungen durch eine Absenkung der Grundwasseroberfläche sind zum einen auf eine Zusatzbelastung des Korngerüsts durch fehlenden Auftrieb (insbesondere in nichtbindigen Sedimenten wie Sanden etc.) und zum ande-

ren auf das Schrumpfen bindiger Böden (Ton, Schluff etc.) durch mit abnehmendem Wassergehalt zunehmende Kapillarspannung zurückzuführen. Maßgebend für eine Einschätzung der Setzungen in nichtbindigen Sedimenten sind die Schichtmächtigkeit, der Steifemodul sowie das Absenkungsmaß der Grundwasseroberfläche. Das Ausmaß von Setzungen in bindigen Sedimenten ist hingegen abhängig von der Schichtmächtigkeit, der Wassergehaltsabnahme und dem Porenanteil. Von diesen Grundlagen ausgehend lassen sich folgende allgemeingültige Zusammenhänge formulieren:

- Organische/organogene Böden (Mudde, Torf etc.) reagieren auf ein Absinken des Grundwasserspiegels äußerst sensibel. Setzungen sind abhängig vom Grundwasserabsenkungsbetrag und können mehrere Zentimeter bis Dezimeter betragen.
- Bindige Böden (Lehm, Löss, Ton etc.) reagieren auf ein Absinken des Grundwasserspiegels sensibel. Das Ausmaß der Schrumpfsetzungen kann aus dem linearen Anteil der Schrumpfkurve und der zu erwartenden Wassergehaltsänderung abgeschätzt werden. Setzungen sind abhängig vom Grundwasserabsenkungsbetrag und können mehrere Zentimeter bis Dezimeter betragen.
- In bindigen Böden sowie im Überlagerungsfall (nichtbindige Böden über bindige Böden und bindige Böden über nichtbindigen Böden) sind Gebäudeschäden durch Schrumpfsetzungen insbesondere dann zu erwarten, wenn die Grundwasseroberfläche unter die Untergrenze bindiger Schichten absinkt und/oder der kapillare Aufstieg die Wassergehaltsabnahme des Bodens nicht mehr ausgleichen kann.
- Nichtbindige, mitteldicht- bis dichtgelagerte Böden (Sand, Kies etc.) reagieren auf ein Absinken des Grundwasserspiegels unsensibel. Das Ausmaß der Setzungen aufgrund des fehlenden Auftriebs ist gering. Stärkere Setzungen aufgrund fehlenden Auftriebs sind in locker gelagerten, nichtbindigen Böden (Sand etc.) zu erwarten.
- In Festgesteinen ist das Ausmaß von Setzungen durch ein Absinken des Grundwasserspiegels zu vernachlässigen. Allerdings sind die Auswirkungen überlagernder bindiger oder nichtbindiger Böden oder

ein möglicherweise zu Hebungen führender Kristallisationsdruck (Gips etc.) zu beachten.

- Bei großem Grundwasserflurabstand sind geringere Setzungen als bei kleinem Grundwasserflurabstand zu erwarten.
- Liegt das Absenkmaß innerhalb der langjährigen jahreszeitlichen Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels, d. h. unterschreitet der sich durch das Absenken der Grundwasseroberfläche einstellende maximale Flurabstand nicht den langjährigen natürlich vorhandenen Flurabstand, so sind die betroffenen Bauwerke nicht zusätzlich gefährdet.

Die Setzungsempfindlichkeit eines Bauwerks im Einwirkungsbereich einer Grundwasserentnahme ist in erster Linie von der Steifigkeit des Baumaterials und der Konstruktion abhängig. Ein schlaffes Bauwerk schmiegt sich der entstehenden Setzungsmulde an. Ein biegesteifes Bauwerk ist bestrebt, Setzungsunterschiede und Setzungen durch die Verlagerung von Spannungen auszugleichen. Für die Bewertung der Auswirkungen von Setzungen in Grundwasserabsenkungsbereichen sind dementsprechend weniger die vertikalen Gesamtsetzungen als die zu erwartenden Setzungsunterschiede – beispielsweise durch einen variablen geologischen Untergundaufbau mit Rinnenfüllungen etc. – entscheidend. Ein starres Bauwerk erzwingt in solchen Fällen nicht unbedingt gleichmäßige Setzungen; es können Schiefstellungen auftreten.

Als für die Bausubstanz zulässige Setzungen oder Setzungsunterschiede werden Verformungen bezeichnet, die bauwerksverträglich sind – d. h. den Verwendungszweck nicht beeinträchtigen. Bauwerksverträgliche Verformungen garantieren jedoch nicht zwangsläufig Rissfreiheit. Bauwerke für die eine Rissfreiheit zu gewährleisten ist – „weiße Wannen“, Flüssigkeitsbehälter, Wasserbecken etc. – erfordern eine gesonderte Betrachtung.

Sind – durch eine geotechnisch sachverständige Bewertung des Absenkmaßes und der räumlichen Ausdehnung des Absenktrichters, der Schichtmächtigkeit, des Schrumpfverhaltens, der Lagerungsdichte etc. – negative Auswirkungen auf den vorhandenen Gebäudebestand und die sonstige bautechnische Infrastruktur nicht auszuschließen, wird empfohlen, ein geotechnisches Gutachten erstellen zu las-

sen. Der geotechnische Gutachter prüft, ob die vorgesehene Grundwasserentnahme zu Deformationen am vorhandenen Bestand von Gebäuden und bautechnischer Infrastruktur führt (HERTH & ARNDTS 1985; DGGT 1997, 2004).

Wenn die zu erwartenden Deformationen über das zulässige, tolerable Ausmaß hinausgehen – d. h. den Verwendungszweck beeinträchtigende Schäden an Gebäuden, Versorgungsleitungen und/oder Verkehrswegen zu erwarten sind – ist aus bautechnischer Sicht die geplante Grundwasserentnahme in der vorgesehenen Form nicht zulässig. Die geplante Grundwasserentnahmemenge und damit der entstehende Absenktrichter sind zu reduzieren, so dass kritische Baugrundareale nicht unzulässig beeinträchtigt werden.

Sind auf der Grundlage des geotechnischen Gutachtens Setzungsauswirkungen auf den vorhandenen Gebäudebestand und die sonstige bautechnische Infrastruktur nicht auszuschließen, wird empfohlen, ein Beweissicherungsverfahren durchzuführen.

Grundwasserspiegelanstieg

Wird die Wasserentnahme reduziert oder eingestellt, steigt der Grundwasserspiegel wieder an. Die Folge können u. a. Vernässungsschäden an Gebäuden oder Infrastruktur (Kanalisationen etc.) sein, da Geländehebungen oder Geländesenkungen beim Wiederanstieg des Grundwassers nicht reziprok zum Absenkungsprozess erfolgen. Folgende allgemeingültige Zusammenhänge lassen sich formulieren:

- Setzungen durch Absenkung der Grundwasseroberfläche entstehen in bindigen Sedimenten (Ton etc.) allmählich, in nichtbindigen Sedimenten (Sand etc.) sehr schnell nach Grundwasserspiegelsenkung und dem Erreichen eines Beharrungszustandes. Nach Reduzierung/Einstellung der Grundwasserentnahme und Wiederanstieg der Grundwasseroberfläche auftretende Geländehebungen – infolge zunehmenden Auftriebs, Quellung etc. – erreichen lediglich 1–10 % (Tone > 10 %) der vorausgegangenen Geländesenkungen (PRINZ 2006).
- Lokal auftretende organische Einlagerungen – Torf, Mudde etc. – zersetzen sich bei der Grundwasserabsenkung durch

Einwirkung des zutretenden Sauerstoffs und bilden ein poröses Gefüge, welches unter Eigenlast – durch Wegfall des Auftriebs – oder zusätzliche Auflast konsolidiert. Beim Wiederanstieg des Grundwassers nimmt dieses organische Material viel Wasser auf, die entstehenden Hebungen sind jedoch deutlich geringer als die durch eine Grundwasserabsenkung verursachten Setzungen.

- Insbesondere in Lössböden, locker gelagerten Sanden etc. – sind infolge der Vernässung beim Wiederanstieg des Grundwasserspiegels Setzungen oder Sackungen zu erwarten. Ursache betragsmäßig gravierender Sackungen ist der Verlust „scheinbarer Kohäsion“ (Oberflächen-spannung an Kornberührungspunkten) und/oder eine Schwächung beziehungsweise Zerstörung interpartikularer Bindungen (Zementierung, Schichtsilikatbrücken). Sackungen können in locker gelagerten, Sanden oder Löss deutlich größer als die abgeschätzten rein kompressiven Setzungen sein (FEESER, PETH & KOCH 2001).
- Zur Bewertung möglicher Bodendeformationen ist neben einer Vernässung durch den Anstieg des Grundwasserspiegels auch die Vernässung durch Aufstieg von Kapillarwasser zu berücksichtigen. In trockenen, locker gelagerten, nichtbindigen Sedimenten führt beispielsweise eine erste kapillare Durchfeuchtung zu erheblichen Sackungen, wohingegen nach wiederholter Vernässung deutlich geringere Sackungen auftreten (GRIMMER 2006).

Aus den dargestellten Zusammenhängen ergeben sich drei wesentliche, beim Wiederanstieg des Grundwasserspiegels zu beachtende Szenarien:

- Beim Wiederanstieg des Grundwasserspiegels gerät das Korngerüst unter Auftrieb. Hebungen in wiederbenetzten, mitteldicht- bis dicht gelagerten Sanden sowie Hebungen durch das Quellen von Ton, Schluff etc. sind in der Regel geringer als die vorausgegangenen Setzungen. Eine Schädigung der Bausubstanz ist nicht zu erwarten.
- Wurde die Geländeoberfläche durch starke Setzungen organischer Böden etc. im Zuge der Grundwasserabsenkung dauerhaft abgesenkt, sind beim Grundwasser-

wiederanstieg direkte Vernässungsschäden (nasse Keller, aufschwimmende Fundamente etc.) sowohl im Altgebäudebestand als auch bei Neubebauung zu beachten. Infolge der Geländesenkung stellt sich der ansteigende Grundwasserspiegel lokal oberhalb der Geländeoberfläche oder mit geringem Flurabstand ein. In Kellerräume oder Untergeschosse kann aufgrund der relativen Hochlage des Grundwasserspiegels Wasser oder Feuchtigkeit eindringen.

- In Lössböden oder locker gelagerten Sanden können infolge einer Vernässung durch Grundwasserspiegelwiederanstieg oder Kapillarwasseraufstieg erneute Setzungen/Sackungen und somit weitergehende Bauwerksschäden (s. o.) oder direkte Vernässungsschäden verursacht werden. Maßgebend für die Größenordnung der Setzungen/Sackungen sind bodenphysikalische Faktoren wie Korngröße und Korngrößenverteilung, Kornform, Dichte und Porenzahl, Wassergehalt sowie äußere Faktoren wie Auflastspannung und Zeitpunkt der Benetzung (erstmalig oder wiederholt). Basierend auf Laborversuchen werden für Lössboden unter Auflast relative Sackungen von bis zu 7,75 % und für belastete Donaukiese relative Sackungen von bis zu 5,23 % beschrieben (in GRIMMER 2006).

Die aufgeführten Zusammenhänge sind bei einem Erstantrag bereits bei der Planung bzw. Genehmigung einer Grundwasserentnahme zu berücksichtigen. Sind auf der Grundlage des geotechnischen Gutachtens (s. o.) beim Grundwasserwiederanstieg weitere Einwirkungen auf den vorhandenen Gebäudebestand und die sonstige bautechnische Infrastruktur nicht auszuschließen, wird empfohlen, ein Beweissicherungsverfahren durchzuführen.

Wie im Kapitel 4.2 ausgeführt, sind bei einem Grundwasseranstieg als Folge einer Reduzierung oder Aufgabe eines bestehenden Wasserrechtes keine Entschädigungsansprüche abzuleiten. Es wird jedoch empfohlen, etwa bei Bauvorhaben in einem Gewinnungsgebiet, sich über die Lage des Grundwasserspiegels ohne Entnahme zu informieren und bei Bauplanungen zu beachten.

Beweissicherung

Die Beweissicherung von Bauwerken baut auf einer detaillierten Bestandsaufnahme auf. Bauwerksart, Gründungsart (Flach- oder Tiefgründung, historische Gründungsverfahren, Unterkellerung), Vorschäden, besondere Anforderungen an den Verwendungszweck etc. sind zu erfassen. Betroffene Bauwerke sind in angepasste Empfindlichkeitskategorien einzuordnen (beispielsweise historische Gründung, Flachgründung, Tiefgründung) und im Hinblick auf ihre geologische Gründungssituation und ihre Lage im Grundwasserabsenkungs-/Grundwasserwiederanstiegsbereich (beispielsweise bindige Sedimente/zentral, bindige Sedimente/randlich etc.) zu klassifizieren. Die Gefährdung eines Bauwerks ist als Summenparameter der Empfindlichkeit des Bauwerks gegenüber Deformationen, der geologischen Gründungssituation und der Lage des Bauwerks im Grundwasserabsenkungs-/Grundwasserwiederanstiegsbereich zu bestimmen.

Zur Beweissicherung der vorhandenen Bausubstanz sind durch den Gutachter vor Beginn der Grundwasserentnahme Vermessungsmarken, Gipsmarken, Rissmonitore etc. an Gebäuden, Versorgungsleitungen und Verkehrswegen zu setzen. Beobachtungspunkte sind einzurichten und über den Zeitraum der Grundwasserentnahme sowie des Grundwasserwiederanstiegs regelmäßig einzumessen. Es ist zu beachten, dass Vermessungsmarken etc. und Beobachtungspunkte sowohl in durch die Grundwasserentnahme beeinflussten als auch durch die Grundwasserentnahme nicht beeinflussten Bereichen gesetzt werden.

Durch Grundwassermessstellen ist der Verlauf der Absenkkurve des Absenktrichters nachzuweisen. Abweichungen des tatsächlich beobachteten Absenktrichters vom theoretisch modellierten Absenktrichter sowie jahreszeitliche Schwankungen der Grundwasseroberfläche sind zu dokumentieren und im Hinblick auf resultierende Setzungen und eine Änderung/Erweiterung des Beweissicherungsbereiches zu bewerten.

Die Arbeitsschritte werden in einem fortzuschreibenden Durchführungsplan „Bautechnische Beweissicherung“ (Datenerfassung und -aufbereitung, Messturnus, Berichtsturnus und Abgabetermine) festgelegt. Es sind in der Regel folgende Maßnahmen durchzuführen:

- Definition von Empfindlichkeitskategorien für Bauwerke,
- Kategorisierung der geologischen Gründungssituation und der Lage von Bauwerken im Grundwasserabsenkungs-/Grundwasserwiederanstiegsbereich,
- Festlegung von Gefährdungsbereichen,
- bautechnische Bestandsaufnahme bestehender Bauwerke im Einflussbereich der förderbedingten Grundwasserabsenkung,
- Setzen der Vermessungsmarken, Gipsmarken, Rissmonitore, Beobachtungspiegel etc.,
- Erfassung und Dokumentation der Messergebnisse (Absenkmaß, Setzungen etc.),
- fortlaufende Dokumentation und Bewertung der Setzungsschäden,
- Bewertung der vorhandenen und sich entwickelnden Schädigungs- bzw. Gefährdungssituation,
- prüffähige und zeitgerechte Überstellung der Ergebnisse an die Genehmigungsbehörde.

7.5 Beweissicherung Natur und Landschaft

Bei Grundwasserneuerschließungen ist der Zustand von Natur und Landschaft ohne Entnahme zu ermitteln (vgl. RASPER 2004). Für den Zustand mit zukünftiger Grundwasserentnahme kann auf der Basis der hydrogeologischen Einschätzung eine Prognose der Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft erstellt werden.

Bei der wasserrechtlichen Genehmigung einer bereits bestehenden Entnahme wird der Zustand mit Entnahme ermittelt. Soweit die Entnahmemenge geändert wird oder Aussagen über den Zustand von Natur und Landschaft ohne die bisherige Entnahme notwendig sind, muss hier ebenfalls eine Prognose erstellt werden.

Durch Grundwasserentnahme bedingte Veränderungen wertvoller Biotope sollten u. a. durch Vegetationsaufnahmen dokumentiert und Vorschläge zur Minderung der Schäden gemacht werden. Bei empfindlichen Biotoptypen lassen sich jedoch einmal eingetretene Schäden kaum wieder rückgängig machen (z. B. Mineralisierung von entwässertem Niedermoortorf).

Erforderliche Auflagen und Maßnahmen zum Ausgleich möglicher Beeinträchtigungen sollten daher vor der wasserrechtlichen Genehmigung festgelegt werden (DVGW 2008). Dazu gehören die

- Erfassung und Bewertung des Zustandes von Natur und Landschaft (RASPER 2004),
- Prognose der möglichen Beeinträchtigungen der Belange von Naturschutz und Landschaftspflege,
- Prüfung der Möglichkeiten zur Vermeidung von Beeinträchtigungen,
- Festlegung erforderlicher Auflagen und Maßnahmen zum Ausgleich,
- Festlegung erforderlicher Auflagen und Maßnahmen zur Kompensation (Ausgleich, Ersatz, Ersatzzahlung) im Sinne der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung.

Die Arbeitsschritte werden in einem fortzuschreibenden Durchführungsplan Naturschutz (Datenerfassung und -aufbereitung, Messturnus, Berichtsturnus und Abgabeterminen) festgelegt. Grundlage ist die Ermittlung und kartenmäßige Darstellung der bereits eingetretenen förderbedingten Grundwasserabsenkungen.

Im Anschluss an das behördliche Zulassungsverfahren zur Grundwasserentnahme sollten im Rahmen der Beweissicherung Erfolgskontrollen (Erstellung und Funktion) der festgelegten Auflagen und Maßnahmen durchgeführt werden. Die Erstellungskontrolle dient der Überprüfung, ob die notwendigen Maßnahmen zeit- und sachgerecht durchgeführt wurden. Sie ist immer erforderlich. Die Funktionskontrolle soll überprüfen, ob durch die Maßnahmen auch das gewünschte Ziel erreicht wurde bzw. wird. Funktionskontrollen sind nicht generell erforderlich.

Bei bestehenden Entnahmerechten, die erneut genehmigt werden, sind die Grundwasserentnahmen ohne Mengenänderung keine Eingriffe nach NNATG (1994).

8 Basisinformation/ Datengrundlage

Voraussetzung für die Erstellung der Antragsunterlagen ist eine möglichst vollständige Erfassung der Unterlagen und Informationen aus dem Untersuchungsgebiet. Das Untersuchungsgebiet umfasst dabei das Einzugsgebiet und dessen Umfeld sowie den möglichen Beeinträchtigungsbereich. Zur Erleichterung der Datenerfassung sind im Folgenden Behörden und andere Einrichtungen aufgeführt, bei denen die für die Begutachtung benötigten Ausgangsdaten beschafft werden können (Tab. 7). Auf den Internetseiten des LBEG (www.lbeg.niedersachsen.de) und des NLWKN (www.nlwkn.niedersachsen.de) sind hierzu weitere Informationen zu finden.

Der aktuelle Produktkatalog des LBEG ist auf dessen Internetseite unter Karten & Daten > Produktkatalog abrufbar. Darüber hinaus sind Daten und Karten, wie z. B. Bohrdaten, Grundwassergleichenpläne und bodenkundliche Daten, unter Karten & Daten > Kartenserver einzusehen.

Tab. 7: Bezugsquellen.

Thema	LBEG	NLWKN	andere Institutionen
Hydro-geologie/ Hydrologie	<p>Hydrogeologische Übersichtskarten zu Entnahmebedingungen, Grundwasseroberfläche und -beschaffenheit 1 : 500 000 bzw. 1 : 200 000</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grundwasserleitertypen der oberflächennahen Gesteine 1 : 500 000 - Grundwasserbeschaffenheit – Nitrat 1 : 500 000 - Grundwasserbeschaffenheit – Eisen 1 : 500 000 - Grundwasserbeschaffenheit – Kalium 1 : 500 000 - Grundwasserbeschaffenheit – Sulfat 1 : 500 000 - Grundwasserbeschaffenheit – pH-Wert 1 : 500 000 - Grundwasserbeschaffenheit – Chlorid 1 : 500 000 - Entnahmebedingungen in den grundwasserführenden Gesteinen 1 : 500 000 - Durchlässigkeiten der oberflächennahen Gesteine 1 : 500 000 - Hydrogeologische Räume und Teilräume 1 : 500 000 - Versalzung des Grundwassers 1 : 200 000 - Schutzpotenzial der Grundwasserüberdeckung 1 : 200 000 - Lage der Grundwasseroberfläche 1 : 200 000 - Basis des oberen Grundwasserleiterkomplexes 1 : 200 000 (nicht flächendeckend vorhanden) - Mächtigkeit des oberen Grundwasserleiterkomplexes 1 : 200 000 (nicht flächendeckend vorhanden) <p>Lage der Grundwasseroberfläche 1 : 50 000 (in Bearbeitung, nicht flächendeckend vorhanden)</p> <p>Nutzbares Grundwasserdargebot 1 : 50 000</p> <p>Altlastendaten</p> <p>Ergebnisse der geoelektrischen Erkundung im Zuge der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung 1 : 25 000</p> <p>unveröffentlichte Berichte, Arbeiten, Schutzgebietgutachten und Bohrdaten (Einsicht nur mit Genehmigung des Auftraggebers)</p> <p>Grundwasserneubildungskarten (nach GROWA oder nach Dörhöfer & Josopait) 1 : 50 000 bzw. 1 : 200 000</p> <p>Hydrostratigraphische Schnitte 1 : 50 000</p>	<p>wasserwirtschaftliche Rahmenpläne 1 : 200 000</p> <p>großräumige Grundwassererkundung des Landes Niedersachsen</p> <p>Angaben zu oberirdischen Gewässern im Untersuchungsgebiet (Gewässernetz, Abflussmessungen, Quellschüttungen; gegebenenfalls auch durch Gewässerunterhaltungsverbände)</p> <p>Angaben zu weiteren Grundwasserentnahmen, Entwässerungsmaßnahmen</p> <p>Angaben zu Berechnungsflächen (gegebenenfalls Kreis- und Stadtverwaltungen)</p> <p>Grundwasserstände von Brunnen und Grundwassermessstellen</p> <p>Grundwassergütemessstellen</p> <p>Angaben zu Gefährdungsquellen (gegebenenfalls auch Landkreise)</p> <p>Überschwemmungsgebiete</p> <p>Angaben zu den oberirdischen Binnengewässern des Landes (Abflussverhältnisse, Beschaffenheit)</p> <p>Hydrographische Karte Niedersachsen 1 : 50 000 (einschl. Flächenverzeichnis und Fließgewässerverschlüsselung)</p> <p>Angaben zur übergreifenden wasser- und abfallwirtschaftlichen Planung</p> <p>Angaben zu Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten</p> <p>Wasserwerkskataster</p>	<p>Untere Wasserbehörden</p> <p>Angaben zur Grundwasseranreicherung</p> <p>Angaben zu weiteren Grundwasserentnahmen (z. B. zur Feldberegnung, für Industrie und Gewerbe)</p> <p>Angaben zu Entnahmen aus oberirdischen Gewässern</p> <p>Angaben zu Grundwassergefährdungsquellen (gegebenenfalls NLWKN)</p> <p>Wasserversorgungsunternehmen</p> <p>Lageplan des Betrachtungsgebietes mit Standorten von Grundwasserfassungsanlagen, Grundwassermessstellen und wasserwerkseigenen Anlagen</p> <p>Angaben zur Entwicklung des Wasserversorgungsraumes und des wasserwirtschaftlichen Planungsraumes</p> <p>wasserrechtliche Bescheide</p> <p>tatsächliche Entnahmemengen seit Inbetriebnahme</p> <p>Grundwasserbedarfsprognosen</p> <p>geplante Erweiterung der Fassungsanlagen</p> <p>bisher durchgeführte Untersuchungen und erstellte Gutachten, z. B. zur Grundwassererschließung</p> <p>Ausbaupläne, Schichtenprofile und Bohrlochmessungen von Brunnen, Grundwassermessstellen und Aufschlussbohrungen</p> <p>Pumpversuchsdaten bzw. Quellschüttungsmessungen</p> <p>Grundwasserstandsdaten, Grundwasserganglinien und Grundwassergleichenpläne</p> <p>Analysenergebnisse der Beschaffenheit von Roh- und Reinwasser sowie die Grundwasserbeschaffenheit in Vorfeldmessstellen</p> <p>Entwicklungen der Grundwasserqualität (insbesondere bei Belastungen)</p> <p>Flächennutzung und Besiedlung des Untersuchungsgebietes (auch Landkreis/Gemeinde)</p> <p>technische Angaben zur Wassergewinnung, Zustand der Fassungsanlagen, Aufbereitung und Wasserverteilung</p> <p>Wasser- und Bodenverbände</p> <p>Hydrologische Angaben</p> <p>Lagepläne der Entwässerungs- und Schöpfwerke</p> <p>Niedersächsisches Umweltministerium/Geosum</p> <p>Grundwasserkörper nach EG-WRRL (geplant)</p>

Tab. 7 (Fortsetzung).

Thema	LBEG	NLWKN	andere Institutionen
Bodenkunde – digitale und analoge Datenabgabe	<p>Bodenübersichtskarte 1 : 50 000 (BÜK 50)</p> <p>Bodenkarte von Niedersachsen 1 : 50 000 (BK 50), soweit erschienen</p> <p>Bodenkarte von Niedersachsen 1 : 25 000 (BK 25), soweit erschienen</p> <p>Bodenkundliche Stadtkarte Hannover 1 : 25 000</p> <p>Bodenkarte auf der Grundlage der Bodenschätzung 1 : 5 000 (DGK 5B), soweit erschienen</p> <p>Daten zur Bodenschätzung 1 : 5 000</p> <p>Bodenkundliche Auswertungskarten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Standortbezogenes natürliches ackerbauliches Ertragspotenzial - Biotopentwicklungspotenzial - Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wind (nur für Ackerflächen) - Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser (nur für Ackerflächen) - Durchschnittliche Gefährdung des Bodens durch Wassererosion bei gemeindespezifischer Fruchtfolge (nur für Ackerflächen) - Potenzielle Verschlammungsneigung von Oberböden - Potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit - Relative Bindungsstärke des Oberbodens für Schwermetalle - Sickerwasserrate - Effektive Durchwurzelungstiefe - Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes - Pflanzenverfügbares Bodenwasser - Nitratauswaschungsgefährdung - Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit - Bodenkundliche Feuchtestufe - Schutzwürdige Böden <p>Bodenkundliche Projektkartierung</p> <p>Bodenkundliche Beweissicherung</p> <p>Alllastendaten</p>		<p>Internationales Landkartenhaus Stuttgart</p> <p>Bodenkarte von Niedersachsen (BK 25, BK 5), soweit erschienen</p> <p>Wasserversorgungsverbände (WVV), Untere Wasserbehörde (UWB)</p> <p>Vorstudien und Studien zur Nitratauswaschungsgefährdung</p> <p>land- und forstwirtschaftliche Beweissicherung</p> <p>Wasser- und Bodenverbände</p> <p>Entwässerung/Vorfluterausbau</p> <p>Kulturtechnik/Tieflockerung</p>

Tab. 7 (Fortsetzung).

Thema	LBEG	NLWKN	andere Institutionen
Bodenkunde – digitale und analoge Datenabgabe	unveröffentlichte Berichte, Arbeiten, Schutzgebietgutachten und Bohrdaten (Einsicht nur mit Genehmigung des Auftraggebers) Bohrungsdaten Schriften und CDs - Arbeitshefte - GeoBerichte - Geofakten - CD „Böden in Niedersachsen“ - CD-ROM „Digitaler Atlas Hintergrundwerte“		
Geologie	Geologische Übersichtskarte 1 : 200 000 (GÜK 200) Geologische Karte 1 : 50 000 (GK 50) Geologische Karte 1 : 25 000 mit Erläuterungen (GK 25) Geologische Übersichtskarten 1 : 25 000 (GÜK 25), Manuskript Quartärbasiskarte 1 : 200 000 (unvollständig), z. T. in der GK 25 enthalten) Geologische Küstenkarte 1 : 25 000 – Profiltypen des Küstenholozäns Geologische Küstenkarte 1 : 25 000 – Relief der Holozänbasis Geologische Stadtkarte Hannover 1 : 25 000 – Oberflächennahe Gesteine Geologische Stadtkarte Hannover 1 : 25 000 – Gebinde Karte der ursprünglichen Moorverbreitung in Niedersachsen 1 : 50 000 Auswertungskarte „Hochwassergefährdung“ 1 : 50 000 Auswertungskarte „Hochwassergefährdung“ 1 : 500 000 Geologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1 : 500 000 Quartärgeologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1 : 500 000 Geologische Schnitte 1 : 50 000 Bohr- und Profildaten		Internationales Landkartenhaus Stuttgart Geologische Übersichtskarte (GÜK 200) Geologische Karte mit Erläuterungen (GK 25), soweit erschienen

Tab. 7 (Fortsetzung).

Thema	LBEG	NLWKN	andere Institutionen
Forst-/Landwirtschaft	Forstliche Standortkartierung 1 : 25 000 Historische Landnutzung in Niedersachsen 1 : 25 000		Landwirtschaftskammer landwirtschaftliche Nutzungen, Tiefumbruchflächen, Sandmischkulturen, Landbaupläne, Be- und Entwässerungsflächen (Beregnung), Flurneuordnung Niedersächsisches Landesforsten und Forstämter, Landwirtschaftskammer forstwirtschaftliche Angaben Geoinfo Landentwicklung und Liegenschaften
Geothermie	Potenzielle Standorteignung für Erdwärmekollektoren (Einbautiefe 1,2–1,5 m) 1 : 50 000 Nutzungsbedingungen oberflächennaher Geothermie		
Rohstoffe/Bergbau	Rohstoffsicherungskarte 1 : 25 000 Rohstoffkarte von Niedersachsen 1 : 25 000 – Erzvorkommen Rohstoffkarte von Niedersachsen 1 : 50 000 – Salzvorkommen Bergbauliche Angaben		
Ingenieur-geologie	Karte der Geogefahren in Niedersachsen 1 : 25 000 – Erdfall- und Senkungsgebiete Ingenieurgeologische Karte von Niedersachsen 1 : 50 000 – Baugrund Bodenklassen für Erdarbeiten nach DIN 18300 Ingenieurgeologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000		
Klima	Klimaraum Klimaatlas 1 : 100 000 Karte der mittleren klimatischen Wasserbilanz für das Sommerhalbjahr 1 : 200 000 Karte der mittleren klimatischen Wasserbilanz für das Gesamtjahr 1 : 200 000		Deutscher Wetterdienst Offenbach, Wetterämter Hannover oder Bremen Klimadaten (1960–1990) Niederschläge und Verdunstung/jährlich, Winterhalbjahr, Vegetationsperiode (Getreide, Hackfrucht, Grünland); Mittelwerte (50 % relative Häufigkeit) und Extremwerte (20 % relative Häufigkeit) Trockenheitsindex, Verdunstung

Tab. 7 (Fortsetzung).

Thema	LBEG	NLWKN	andere Institutionen
<p>Grundkarten/ Topographi- sche Karten</p>			<p>Landesvermessung + Geobasisinfor- mation Niedersachsen Internet: www.lgn.de</p> <p>Deutsche Grundkarte (DGK 5, Rasterda- ten), verschiedene Ausgabeformen</p> <p>analoge topographische Kartenwerke (TK 25, TK 50, TK 100; auch als Raster- daten lieferbar), verschiedene Ausgabe- formen</p> <p>digitale topographische Kartenwerke (ATKIS® - Amtliches Topographisch- Kartographisches Informationssystem)</p> <p>digitale Geländemodelle (DGM 5, DGM 50)</p> <p>digitales Landschaftsmodell (DLM 25)</p> <p>Historische Karten</p> <p>Luftbilder</p> <p>Katasterämter</p> <p>Liegenschaftskarten</p> <p>Liegenschaftskataster</p> <p>Deutsche Grundkarte 1 : 5 000 (DGK 5; analoge Daten)</p> <p>GLL – Ämter für Geoinformation, Landentwicklung, Liegenschaften</p> <p>Flurbereinigung, Flurneuordnung</p> <p>Landkreise, kreisfreie Städte, große selbständige Städte, Kommunalverbände</p> <p>Regionale Raumordnungsprogramme (RROP)</p> <p>Angaben zu geschützten oder schüt- zenswerten Flächen im Sinne des Natur- und Landschaftsschutzes</p> <p>Niedersächsisches Landwirtschafts- ministerium</p> <p>Landesraumordnungsprogramm (LROP)</p>

9 Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 4). – 4. Aufl., 392 S.; Hannover.
- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). – 5. Aufl., 438 S.; Hannover.
- AD-HOC-AG HYDROGEOLOGIE (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung. – Geol. Jb. **G 2**; Hannover.
- ANDERSON, M. P. & WOESSNER, W. W. (1992): Applied Groundwater Modeling. – 381 S.; San Diego (Academic Press).
- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (1996): Forstliche Standortsaufnahme: Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. – 5. Aufl.; Eching (IHW).
- ATV-DVWK - DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. – Merkblatt **M 504**, GFA - Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, Anhang D 1; Hennef.
- BOESS, J., GEHRT, E., MÜLLER, U., OSTMANN, U., SBRESNY, J. & STEININGER, A. (2004): Erläuterungsheft zur digitalen nutzungsdifferenzierten Bodenkundlichen Übersichtskarte 1 : 50 000 (BÜK 50n) von Niedersachsen. – Arb.-H. Boden 2004/3: 61 S., 10 Abb., 35 Tab.; Hannover (NLFb).
- DE WIEST, R. J. M. (1966): Geohydrology. – 366 pp.; New York (Wiley).
- DGGT - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E. V. (1997): Geotechnik historischer Bauwerke und Naturdenkmäler - Empfehlungen Nr. 1. – Z. Bautechnik **74**.
- DGGT - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E. V. (2004): Geotechnik historischer Bauwerke und Naturdenkmäler - Empfehlungen Nr. 2. – Z. Bautechnik **81**.
- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (1994): DIN 4049-3 - Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. – 80 S.; Berlin (Beuth).
- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (1997): DIN 19732 - Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtsorbierbaren Stoffen. – 1997-06; Berlin (Beuth).
- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2002): EDIN 19686 - Vegetationsökologische Datenerhebung für Aufgaben im Bereich der Landeskultur. – Gelbdruck, 13 S.; Berlin (Beuth).
- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2004): DIN 4023 E - Geotechnische Erkundung und Untersuchung, zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen. – Berlin (Beuth).
- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2008): DIN 4220 - Bodenkundliche Standortbeurteilung - Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen). – 2008-11; Berlin (Beuth).
- DÖRHÖFER, G. & JOSOPAIT, V. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. – Geol. Jb. **C 27**: 45–65; Hannover.
- DVGW - DEUTSCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES E. V. (1997): Planung, Durchführung und Auswertung von Pumpversuchen bei der Wassererschließung. – Arbeitsblatt **W 111**; Bonn.
- DVGW - DEUTSCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES E. V. (2003): Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen. – Arbeitsblatt **W 121**; Bonn.
- DVGW - DEUTSCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES E. V. (2004): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten. – Technische Regel, Arbeitsblatt **W 107**; Bonn.
- DVGW - DEUTSCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES E. V. (2008): Beweissicherung für Grundwasserentnahmen der Wasserversorgung. – Technische Regel, Arbeitsblatt **W 150**; Bonn.
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1982): Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots. – DVWK-Schriften **58** (1/2), 670 S.; Hamburg.
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1985): Voraussetzungen und Einschränkungen bei der

- Modellierung der Grundwasserströmung. – Merkblätter zur Wasserwirtschaft **206**, 27 S., 11 Abb., 1 Taf.; Hamburg (Parey).
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1986): Beweissicherung bei Eingriffen in den Bodenwasserhaushalt von Vegetationsstandorten. – Merkblatt **208**, 24 S.; Hamburg (Parey).
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1995): Bodenkundliche Untersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten, Teil I: Ansprache der Böden. – Regeln **129**, 42 S.; Bonn (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft).
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1996a): Wasserwirtschaftliche Forderungen an die Landnutzungsplanung zur Erhaltung der Grundwasserqualität in Bezug auf Nitrat in Wasserschutzgebieten. – DVWK-Schriften **111**, 124 S.; Bonn (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft).
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1996b): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. – Merkblatt **238**, 135 S.; Bonn (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft).
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1999a): Bodenkundliche Untersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten, Teil II: Ableitungen zum Wasser- und Lufthaushalt von Böden. – Regeln **136**, 29 S.; Bonn (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft).
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1999b): Numerische Modelle von Flüssen, Seen und Küstengewässern. – DVWK-Schriften **127**, 440 S., 96 Abb., 17 Tab.; Bonn.
- ECKL, H., HAHN, J. & KOLDEHOFF, C. (1995): Empfehlungen für die Erstellung von hydrogeologischen Gutachten zur Bemessung und Gliederung von Trinkwasserschutzgebieten, Schutzgebiete für Grundwasser. – Geol. Jb. **C 63**: 25–65; Hannover.
- ECKL, H. & RAISSI, F. (2008): Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an Anträge zur Festsetzung von Wasserschutzgebieten für Grundwasser. – 2. Aufl., Geofakten **2**: 4 S., 2 Abb.; Hannover (LBEG).
- EGGELSMANN, R. (1981a): Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau. – 2. Aufl., Hamburg (Parey).
- EGGELSMANN, R. (1981b): Anmerkungen zur Berechnungsmethode der Breite hydrologischer Schutzzonen im Moor. – TELMA **12**: 183–187.
- ELBRACHT, J., MEYER, R. & REUTTER, E. (2007): Hydrogeologische Räume und Teilräume in Niedersachsen. – mit Beiträgen von LINDER, B. & MAI, C., GeoBerichte **3**: 107 S., 25 Abb.; Hannover (LBEG).
- ENGEL, N. & MITHÖFER, K. (2003): Auswertung digitaler Bodenschätzungsdaten im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB) - Ein Überblick für den Nutzer. – Arb.-H. Boden **2003/1**: 5–43, 23 Abb., 9 Tab.; Hannover (NLfB).
- FEESER, V., PETH, S. & KOCH, A. (2001): Löss-Sackung. Ursachen - experimentelle Bestimmung - Bewertung - Prävention. – Geotechnik **24** (2): 107–116; Essen.
- FEDDES, R., KOWALIK, P. & ZARADNY, H. (1978): Simulation of field water use and crop yield. – Centr. f. Agricult.; Wageningen.
- FH-DGG - FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE IN DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN (2000): Hydrogeologische Modelle. Ein Leitfaden für Auftraggeber, Ingenieurbüros und Fachbehörden. – Hydrogeol. Beitr. **10**, 36 S., 5 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. (1979): Groundwater. – 604 S.; Upper Saddle River, NJ (Prentice Hall).
- FRICKE, E. (2006): Zusatzwasser für mehr Qualität. – Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Fachverband Feldberegnung, <www.fachverband-feldberegnung.de/basisinfo.htm>.
- FRICKE, E. & HEIDORN, H. (2003): Effizientes landwirtschaftliches Beregnungsmanagement. – Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Fachverband Feldberegnung, <www.fachverband-feldberegnung.de/basisinfo.htm>.
- GEHRT, E. (1999): Norddeutsche Löss- und Sandlösslandschaften. – in: BLUME, H.-P., FELIX-HENNINGSSEN, P., FISCHER, W. R., FREDE H.-G., HORN, R. & STAHR, K. (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde; Landsberg/Lech.

- GEHRT, E. & RAISSI, F. (2008): Grundwasseramplituden in Bodenlandschaften Niedersachsens. – 2. Aufl., *Geofakten* **20**: 8 S., 5 Abb., 1 Tab.; Hannover (LBEG).
- GEHRT, E. & SBRESNY, J. (1999): Erläuterungen zur Ableitung und den Inhalten der Bodenübersichtskarten 1 : 200 000 (BÜK 200) und 1 : 500 000 (BÜK 500) von Niedersachsen. – *Arb.-H. Boden* 1999/1: 61–98, 4 Abb., 12 Tab.; Hannover (NLfB).
- GRIMMER, S. (2006): Sackungsprozesse in natürlichen Lockergesteinsfolgen infolge Grundwasserwiederanstiegs. – 134 S., XV Bl.; Halle <<http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/06/06H152/index.htm>>.
- HAMMANN, D. (1993): Das Wasserrechtsverfahren zur Bewilligung einer Grundwasserentnahme in Niedersachsen. – *BBR Wasser und Rohrbau* **44** (12): 596–600; Köln.
- HAUDE, W. (1954): Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. – *Mitt. dt. Wetterdienst* **1** (8): 1–22; Bad Kissingen.
- HAUDE, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. – *Mitt. dt. Wetterdienst* **2** (11): 1–24; Bad Kissingen.
- HERTH, W., & ARNDTS, E. (1985): Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung von baugrundbedingten Rissen und Verformungen an historischen Bauwerken. – Berlin (Ernst & Sohn).
- HILLMANN, M., MEESENBURG, H., RAISSI, F. & WORBES, M. (2009a): Auswirkungen von Grundwasserentnahmen auf die forstliche Nutzung, Teil 1: Rechtliche Rahmenbedingungen und Voruntersuchungen. – unter Mitarbeit von BÖTTCHER, A., GUERICKE, M., HAAS, W., HAASE, H., PINZ, K., WINKELMANN, L., KRIEGER, K.-H., MÜLLER, U. & ROSENBERG, A.; 3. Aufl., *Geofakten* **15**: 8 S., 4 Abb., 2 Tab.; Hannover (LBEG).
- HILLMANN, M., MEESENBURG, H., RAISSI, F. & WORBES, M. (2009b): Auswirkungen von Grundwasserentnahmen auf die forstliche Nutzung, Teil 2: Forstliches Beweissicherungsverfahren. – unter Mitarbeit von BÖTTCHER, A., GUERICKE, M., HAAS, W., HAASE, H., PINZ, K., WINKELMANN, L., KRIEGER, K.-H., MÜLLER, U. & ROSENBERG, A.; 3. Aufl., *Geofakten* **16**: 9 S., 5 Abb.; Hannover (LBEG).
- HOFFMANN, B. (1991): Einsatz hydraulischer Modelle bei der Lösung hydrogeologischer Probleme. – *Nds. Akad. Geowiss. Veröff.* **7**: 66–78, 6 Abb.; Hannover.
- HYDRO AGRI (Hrsg.) (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. – 12. Aufl., 618 S.; Dülmen.
- JOSOPAIT, V. (1996): Überlegungen zu Ziel und Inhalt von hydrogeologischen Gutachten für Wasserrechtsanträge bei Grundwasserentnahmen. – *Grundwasser* **3-4/96**: 137–141; Berlin.
- JOSOPAIT, V. (2000): Bewilligung von Entnahmerechten für die öffentliche Wasserversorgung in Deutschland, Anforderungen und Inhalte aus Sicht der Behörde. – DVGW-Informationsveranstaltung am 12. 09. 2000, 3 S., 22 Abb.; Kassel [Unveröff.].
- JOSOPAIT, V., RAISSI, F. & ECKL, H. (2009): Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an Wasserrechtsanträge zur Grundwasserentnahme. – 4. Aufl., *Geofakten* **1**: 7 S., 4 Abb.; Hannover (LBEG).
- JOSOPAIT, V., RAISSI, F. & MÜLLER, U. (2009): Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an Anträge zur Grundwasserentnahme für die Feldberegnung. – 3. Aufl., *Geofakten* **3**: 5 S., 1 Tab.; Hannover (LBEG).
- KINZELBACH, W. & RAUSCH, R. (1991): PAT (Pathline and Travel Times Model) - Programm zur Berechnung von Bahnlinien und Laufzeiten. – Programmdokumentation, 18 S., 11 Abb.; Kassel.
- KINZELBACH, W., VOSS, A., RAUSCH, R., SAUTY, J.-P., CHIANG, W. H., CORDES, C. & FANG, S. Z. (1996): Altlastenhandbuch des Landes Niedersachsen, Materialienband Berechnungsverfahren und Modelle. – NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE & NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.), 216 S., 163 Abb., 11 Tab., mit CD-ROM; Berlin.
- KLEEFISCH, B. (1994): Die Konstruktion und Auswertung digitaler Bodenkarten. Methoden und Verfahren für den Aufbau und Einsatz von Bodeninformationssystemen. – *ZALF-Bericht* **9**: 197 S., 58 Abb., 10 Tab., 16 Anl.; Müncheberg.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (1998): Der Landschaftshaushalt im Flusseinzugsgebiet der

- Elbe - Verfahren, Datengrundlagen, Bilanzgrößen. – Buchreihe Umwelt **12**, Forschungszentrum Jülich.
- KUNZE, H. & EGGELSMANN, R. (1981): Zur Schutzfähigkeit nordwestdeutscher Moore. – TELMA **11**: 197–212; Hannover.
- LEHNHARDT, F. & BRECHTEL, H. M. (1980): Durchwurzelungs- und Schöpftiefen von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen bei unterschiedlichen Standortverhältnissen, Teil 1: Erfahrungen aus Geländearbeiten und Ergebnisse veröffentlichter Untersuchungen. – Allg. Forst- und Jagdzeitung **151** (6/7): 120–127.
- LEHNHARDT, F. & BRECHTEL, H. M. (1985): Schöpftiefe und effektiv nutzbare Bodenspeicherung der wichtigen Bodeneinheiten von grundwasserabgesenkten Waldstandorten im hessischen Ried. – Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung **26**: 138–149.
- LEMKE, D. & ELBRACHT, J. (2008): Grundwasserneubildung in Niedersachsen. Ein Vergleich der Methoden Dörhöfer & Josopait und GROWA06V2. – Diplomarbeit, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) und Leibniz Universität Hannover, Geoberichte **10**, 61 S., 19 Abb., 24 Tab., Anh.; Hannover.
- MANHENKE, V., REUTTER, E., HÜBSCHMANN, M., LIMBERG, A., LÜCKSTÄDT, M., NOMMENSEN, B., PETERS, A., SCHLIMM, W., TAUGS, R., VOIGT, H.-J. (2001): Hydrostratigrafische Gliederung des nord- und mitteldeutschen känozoischen Lockergesteinsgebietes. – Zeitschrift für angewandte Geologie **47** (3/4): 146–152.
- MATERIALIEN ZUM ALTLASTENHANDBUCH NIEDERSACHSEN (1996): Berechnungsverfahren und Modelle. – NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE & NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.), 216 S.; Berlin (Springer).
- MEYER, L. (1996): Generelle Sensitivitätsanalyse der Grundwasserströmung eines pleistozänen Rinnensystems. – Mitt. Inst. Wasserwirtschaft Universität Hannover **82**: 185–330, 48 Abb., 7 Tab., 12 Anl.; Hannover.
- MÜLLER, U. (1997): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des NIBIS®. – 6. Aufl., 321 S.; Hannover.
- MÜLLER, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). – 7. erw. und erg. Aufl., Arb.-H. Boden 2004/2: 409 S., 3 Abb., 405 Tab.; Hannover (NLfB).
- MÜLLER, U. & RAISSI, F. (2002): Arbeitshilfe für bodenkundliche Stellungnahmen und Gutachten im Rahmen der Grundwassernutzung. – mit Beiträgen von HÖPER, H., SCHÄFER, W. & KUES, J., Arb.-H. Boden 2002/2: 49 S., 10 Abb., 13 Tab.; Hannover (NLfB).
- MULL, R. (Hrsg.) (1987): Anthropogene Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt. – 110 S.; Weinheim (VCH).
- MULL, R. & YOUSSEF, T. (1977): Grundwasserstandsabsenkung und Bodensetzung. – Z. dt. geol. Ges.: 427–440; Hannover.
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIALBLATT (1985): Erste Ausführungsbestimmung zum Niedersächsischen Wassergesetz (NWG) - Wasserrechtsverfahren. – RdErl. d. ML v. 22.02.1985, Nds. MBl. 10/1985: 224–225; Hannover.
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIALBLATT (2004): Zwölfte Ausführungsbestimmung zum Niedersächsischen Wassergesetz (NWG) - Rohwasseruntersuchungen und Untersuchungen an Vorfeldmessstellen. – RdErl. d. MU v. 09.09.2004, Nds. MBl. 30/2004: 592; Hannover.
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIALBLATT (2007): Mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers. – RdErl. d. MU v. 25.06.2007, Nds. MBl. 33/2007: 818–821, Az. 23-62011/1; Hannover.
- NLFB - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.) (1997): Böden in Niedersachsen, Teil 1: Bodeneigenschaften, Bodennutzung und Bodenschutz; Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS®. – NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG, FACHBEREICH BODENKUNDE (Hrsg.), 125 S., 36 Abb., 1 Tab., 63 Prof.; Hannover.
- NLFB - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (2000): Profil-Erfassungsprogramm PEP - Anweisung zur Erfassung von bodenkundlichen Profildaten nach KA 4. – Hannover.

- NMU - NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (2004): Protokoll mit Erlasscharakter vom 10.05.2004. – Az. 26-02261/01; Hannover.
- NMU - NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (2008): Gewässerkundlicher Landesdienst, Beratungspflicht und Beteiligungserfordernis nach § 52 Abs. 3 NWG. – RdErl. d. MU v. --.--2008 [Entwurf].
- NMU - NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (2009): Ergebnisniederschrift zu der Dienstbesprechung mit den unteren Wasserbehörden zum Grundwasserschutz und zur Trinkwasserversorgung“ des MU vom 14.01.2009. – Az. 23–02261/04, S. 6f; Hannover.
- NNATG (1994): Niedersächsisches Naturschutzgesetz vom 11. April 1994. – Nds. GVBl.: 155, 267; Hannover.
- NEUSS, M. & DÖRHÖFER, G. (2009): Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte und Prognosen in Niedersachsen. – 3. Aufl., Geofakten **8**: 9 S., 4 Abb.; Hannover (LBEG).
- NUVPG (2007): Niedersächsisches Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung vom 30. April 2007. – Nds. GVBL.: 179.
- NWG (2007): Niedersächsisches Wassergesetz vom 25. Juli 2007. – Nds. GVBL. Nr. 23: 345.
- OELKERS, K.-H., SCHIMPF, U. & LÜDERS, R. (1983): Analyse eines Arbeitsflusses zur DV-technisch gestützten Herstellung von Bodenkarten. – Geol. Jb. **A 70**: 87–101, 2 Taf.; Hannover.
- PAPE, W.-P. VON (2003): Höchste Grundwasserstände im Hessischen Ried als Planungskriterium für Bauwerke. – Jahresbericht 2003 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie: 45–52; Wiesbaden.
- PRINZ, H. & STRAUSS, R. (2006): Abriss der Ingenieurgeologie. – 4. Aufl., 674 S., 399 Abb.; Stuttgart (Spektrum).
- RAISSI, F. & MÜLLER, U. (2009a): Bodenkundliche Ermittlungen von Grundwasserabsenkungen im Gelände – Erfassung und Abschätzung der anteiligen Grundwasserabsenkungsbeträge durch Grundwasserentnahme und Entwässerungsmaßnahmen. – 3. Aufl., Geofakten **5**: 6 S., 4 Abb.; Hannover (LBEG).
- RAISSI, F. & MÜLLER, U. (2009b): Auswirkungen von Grundwasserentnahmen auf die Bodennutzung - Landwirtschaftliche Beweissicherungsverfahren. – 3. Aufl., Geofakten **6**: 6 S., 6 Abb.; Hannover (LBEG).
- RAISSI, F., MÜLLER, U. & MEESENBURG, H. (2009): Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe von Forststandorten. – 4. Aufl., Geofakten **9**: 7 S., 1 Abb., 8 Tab.; Hannover (LBEG).
- RAISSI, F. & SPONAGEL, H. (1987): Abschätzung der anteiligen Grundwasserabsenkungen und Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt durch Entwässerungsmaßnahmen im Rahmen der Flurbereinigung und Grundwasserentnahme durch Wasserwerke. – Mitt. dt. Bodenkdl. Ges. **55/II**: 937–942.
- RAISSI, F., WEUSTINK, A., MÜLLER, U., NIX, T., MEESENBURG, H. & RASPER, M. (2009): Durchführungspläne für die Beweissicherung zum Bewilligungsbescheid zur Entnahme von Grundwasser. – 5. Aufl., Geofakten **19**: 17 S., 3 Abb., 4 Tab.; Hannover (LBEG).
- RASPER, M. (2004): Hinweise zur Berücksichtigung von Naturschutz und Landschaftspflege bei Grundwasserentnahmen. – Inform. d. Naturschutz Niedersachsens **24**, Nr. 4: 199–230; Hildesheim.
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1982): Beregnungsbedürftigkeit der landschaftlichen Nutzflächen in Niedersachsen. – Geol. Jb. **F 13**: 3–66.
- RENGER, M., STREBEL, O., SPONAGEL, H. & WESSOLEK, G. (1984): Einfluss von Grundwasserabsenkungen auf den Pflanzenertrag landwirtschaftlich genutzter Flächen. – Wasser und Boden **10**: 499–502.
- RENGER, M., VOIGT, H., STREBEL, O. & GIESEL, W. (1974): Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten, 2. Bericht: Einfluss des Grundwassers auf die Wasserversorgung der Pflanzen. – Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung **15**: 206–221.
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1990): Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen und Nutzungsänderung auf die Grundwasserneubildung. – 5. Wiss. Tagung „Hydrologie und Wasserwesen“, April 1990, Neubiberg, Band b: 295–305.

- RENGER, M., WESSOLEK, G. & RIEK, W. (1996): Auswirkungen der Grundwasserentnahme auf Land- und Forstwirtschaft. – Niedersächsische Akademie der Geowissenschaften **11**: 98 S.; Hannover.
- REUTTER, E. (2000): Bedeutung hydrogeologischer Flächen- und Raumdaten der Landesaufnahme für die Wasserwirtschaft. – Arb.-H. Wasser 2000/1: 49–57, 5 Abb., 3 Tab.; Hannover (NLfB).
- REUTTER, E. (2001): Hydrogeologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1 : 500 000 - Hydrogeologische Räume und Teilräume. – Hannover (LBEG).
- REUTTER, E. (2005): Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens. – Geofakten **21**: 10 S., 5 Abb., 2 Tab.; Hannover (NLfB).
- ROGGE, A. & JOSOPAIT, V. (1994): Beziehung zwischen Grundwasserentnahme und Versalzung in einem Aquifer des niedersächsischen Küstengebietes. – Z. angew. Geol.: 12–18; Stuttgart.
- SARA, M. N. (1993): Standard Handbook for Solid and Hazardous Waste Facility Assessments. – 915 S., 498 Abb., 84 Tab.; Boca Raton (Lewis).
- SCHLÜTER, R. (1983): Die Auswirkungen der vom Wasserwerk B verursachten Grundwasserabsenkungen auf die forstlichen Erträge. – Bonn (Pflug und Feder).
- STADTWERKE HANNOVER AG & NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (2000): Waldbewirtschaftung im Zeichen des Trinkwasserschutzes. Empfehlungen zum Waldumbau. – Hannover.
- STENITZER, E. & MÜLLER, U. (1996): Wasserhaushalts- und Ertragsmodell SIMWASER - 4. Version. – Arb.-H. Boden 1996/1: 3–27, 13 Abb., 1 Tab.; Hannover (NLfB).
- STRUCKMEIER, W. (1977): Notice explicative de la Carte Hydrogeologique Internationale de l'Europe 1 : 1 500 000, Feuille C 4, Berlin. – avec contributions de ANDERSEN, L. J., APEL, R., CARLE, W., CASTANY, G., DE GEER, J., DEUTLOFF, O., DIEDERICH, G., FRANK, H., GERHARDY, H., GLANER, H., GRIMMELMANN, W., GROBA, E., GULINCK, M., HÄNLE, B., HAHN, J., HEIZMANN, G., HÖRNSTEN, Ä., JELGERSMA, S., JETEL, J., JOHANNSEN, A., KARENBERG, H., KELSTRUP, N., KOLAGO, C., LEBKÜCHNER, H., LÖHNERT, E., MOHR, M., SAUER, K., SCHERLER, P. C., VAN STEMPPEL, C., VILLINGER, E. & ZIESCHANG, J., 105 p., 15 fig.; Hannover (BGR), Paris (UNESCO).
- TRINKWV (2001): Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001. – BGBl 2001, Teil I, Nr. 24: 959–980.
- WESSOLEK, G. (1989): Einsatz von Wasserhaushalts- und Photosynthesemodellen in der Ökosystemanalyse. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung **61**, TU Berlin.
- WESSOLEK, G., RENGER, M. & STREBEL, O. (1987): Einfluss der Beregnung auf den regionalen Wasserhaushalt. – Wasser und Boden **3**: 112–114.
- WESSOLEK, G., RENGER, M., STREBEL, O., DUYNISVELD, W. H. M., FACKLAM, M., BRAUN, G. & LIST, B. (1988): Gezielte Beregnungssteuerung zur Ertragsoptimierung und Verringerung des beregnungsbedingten Versickerungsanstieges. – DFG-Bericht, TU Berlin.

10 Anhang

10.1 Hydrogeologische Räume und Hydrostratigraphische Einheiten in Niedersachsen

In Niedersachsen ergeben sich aus den unterschiedlichen Standortbedingungen elf Hydrogeologische Räume (REUTTER 2001), die sich im Überblick wie folgt charakterisieren lassen (s. auch Abb. 21):

Raum Nordseeinseln und Watten

Auf den Inseln beschränkt sich das Grundwasservorkommen auf Süßwasserlinsen, die auf dem schwereren Salzwasser im nahen Untergrund schwimmen. Diese Süßwasservorkommen von meist geringer Menge bilden sich aus Niederschlägen in Dünen und marinen Sanden. Das Wasser ist meist weich. Die zwischen Festland und Inseln gelegenen Watten sind vom Gezeitengeschehen geprägt und bei Flut, bis auf einige Sandbänke, vollständig von Salzwasser überspült.

Raum Nordseemarschen

In den Marschen gibt es Grundwasser in wechselnder Menge und Beschaffenheit, zumeist in oberflächennahen Sanden und Kiesen unter einer Ton- und Schlickdecke. In Küstennähe ist das Grundwasser überwiegend versalzt, gebietsweise gibt es aber Süßwasser auf Salzwasser schwimmend. In einiger Entfernung von der Küste sind in den Marschengebieten z. T. ergiebige Süßwasservorkommen in tieferen Stockwerken vorhanden. Diese Wässer sind oft weich, örtlich aber auch härter und oft reich an organischen Bestandteilen.

Raum Niederungen im nord- und mitteldeutschen Lockergesteinsgebiet

In den Niederungen gibt es Grundwasser oberflächennah in Sanden und Kiesen in häufig erheblichen Mengen. Das Wasser ist meist weich, aber häufig reich an Eisen und, bedingt durch das Vorhandensein von Mooren, oft reich an organischen Stoffen. In den Niederungen besteht potenziell eine Gefahr der Verunreinigung von der Oberfläche her, außer bei Auelehmüberdeckung.

Raum Nord- und mitteldeutsches Mittelpleistozän (Geest)

Das Mittelpleistozän wird in Niedersachsen üblicherweise als Geest bezeichnet. In Geestgebieten gibt es Grundwasservorkommen in höheren und tieferen Stockwerken von sehr wechselnder Ergiebigkeit. Im Bereich der Stauchendmoränen ist meist gar kein zusammenhängender Grundwasserleiter ausgebildet. Auch die Beschaffenheit ist wechselhaft, das Wasser ist vorwiegend weich, örtlich aber auch härter, eisenarm bis eisenreich und unter Mooren reich an organischen Bestandteilen.

Raum Sandmünsterland

Die Niederungen der oberen Ems und der oberen Lippe gehören zum überwiegend auf nordrhein-westfälischem Gebiet liegenden Raum Sandmünsterland. In den Niederungen auf niedersächsischem Gebiet gibt es Grundwasser oberflächennah in Sanden und Kiesen in häufig erheblichen Mengen. Das Wasser ist meist weich, aber häufig reich an Eisen und, bedingt durch das Vorhandensein von Mooren, oft reich an organischen Stoffen. In den Niederungen besteht potenziell eine Gefahr der Verunreinigung von der Oberfläche her, außer bei Auelehmüberdeckung.

Raum Münsterländer Kreidebecken

Im westlichen Niedersachsen gehen die randlichen Höhenzüge in eine flache Tafel über, das Münsterländer Kreidebecken, dessen Hauptanteil aber auf nordrhein-westfälischem Gebiet liegt. Der Rand des Beckens ist aufgebogen, teilweise auch überkippt und bildet den Kamm des Teutoburger Waldes. Wichtigster Grundwasserleiter sind die Kalksteine der Oberkreide, die auch kräftige Karstquellen speisen und relativ günstige Entnahmebedingungen im Grundwasser bewirken. Nur Gebiete mit Lössüberdeckung sind gegen Schadstoffeinträge von der Oberfläche her geschützt. Das Wasser ist überwiegend hart bis sehr hart.

Raum Nordwestdeutsches Bergland

Das Deckgebirge im niedersächsischen Bergland besteht aus mesozoischen Sedimentgesteinen, die in Sätteln und Mulden gefaltet und an zahlreichen tektonischen Störungen zerbrochen sind. Die Zechsteinumrandung des Harzes und andere kleine Zechsteinvorkommen werden aufgrund ihrer Genese ebenfalls zum Deckgebirge gezählt. Daraus ergibt sich ein sehr uneinheitlicher und komplizierter Aufbau des Untergrundes.

Im Deckgebirge gibt es Grundwasser in unterschiedlicher Tiefe und in stark wechselnder Ergiebigkeit in Kluft- und teilweise auch in Karstgrundwasserleitern verschiedener Ausdehnung. Grundwasservorkommen mit guter Ergiebigkeit gibt es nur in klüftigen Sandsteinen, Kalk- und Mergelsteinen, örtlich auch als Karstwasser. Häufig tritt Grundwasser an Schicht- und Störungsquellen zu Tage. Das Wasser ist teils hart bis sehr hart, teils weicher. Abgesehen von Gebieten mit starker Lössüberdeckung sind Festgesteinsaquifere gegen Schadstoffeinträge von der Oberfläche her nicht geschützt.

In den Talauen und Senken des Berglandes kommt Grundwasser oberflächennah in Kiesen und Sanden vor, meist in erheblichen Mengen. Von der Beschaffenheit her ist es als mäßig hart bis hart zu bezeichnen. Wie in den Niederungsgebieten besteht auch hier die potenzielle Gefahr der Verunreinigung von der Oberfläche her, außer bei Auelehmüberdeckung.

Raum Mitteldeutscher Buntsandstein

Das Deckgebirge im Südwesten Niedersachsens wird zu dem überwiegend in Hessen liegenden Raum „Mitteldeutscher Buntsandstein“ gerechnet. In den Festgesteinen des unteren und mittleren Buntsandsteins ist ein Kluftgrundwasserleiter mit relativ hoher Ergiebigkeit ausgebildet. Obwohl das Gestein selbst nur geringe bis mittlere Durchlässigkeit aufweist, ist durch intensive bruchtektonische Überprägung ein Kluftsystem im Bruchschollenmosaik und entlang von Störungen vorhanden, das für erhöhte Wasserwegsamkeiten sorgt. Die Wässer sind vorwiegend weich.

Abgesehen von Gebieten mit starker Lössüberdeckung ist der Grundwasserleiter gegen Schadstoffeinträge von der Oberfläche her nicht geschützt.

Raum Subherzyne Senke

Das Deckgebirge im Osten von Niedersachsen gehört randlich zum Raum „Subherzyne Senke“. Es besteht überwiegend aus mesozoischen Sedimentgesteinen, die in Sätteln und Mulden gefaltet und an zahlreichen tektonischen Störungen zerbrochen sind. Im Raum Helmstedt werden die mesozoischen Gesteine großflächig von tertiären Tonen und Sanden mit Braunkohleflözen überlagert. Grundwasser gibt es in unterschiedlicher Tiefe und in stark wechselnder Ergiebigkeit in Kluft- und teilweise auch in Karstgrundwasserleitern. Grundwasservorkommen mit guter Ergiebigkeit gibt es nur in klüftigen Sandsteinen, Kalk- und Mergelsteinen, örtlich auch als Karstwasser. Stehen an der Oberfläche Tone des Tertiärs oder eine starke Lössüberdeckung an, ist das Grundwasser gegen Schadstoffeinträge geschützt, in den übrigen Gebieten allerdings nicht. Das Wasser ist überwiegend hart bis sehr hart, in den Tertiärsedimenten weicher.

Raum Thüringische Senke

Das Deckgebirge im Südosten von Niedersachsen gehört randlich zum Raum „Thüringische Senke“. In den Festgesteinen des unteren und mittleren Buntsandsteins ist ein Kluftgrundwasserleiter mit relativ hoher Ergiebigkeit ausgebildet. Die Wässer sind als weich zu bezeichnen. Aufgrund ihrer Genese wird die Zechsteinumrandung der Thüringischen Senke, trotz ihres paläozoischen Alters, ebenfalls zum Großraum „Mitteldeutsches Bruchschollenland“ gerechnet. Aus hydrogeologischer Sicht kommt den Sedimentiten des Zechsteins besondere Bedeutung zu. Hier gibt es Grundwasser in Klüften, Schlotten und Höhlungen als Karstgrundwasser, das stellenweise in Quellen mit stark wechselnder Schüttung zu Tage tritt. Das Wasser ist sehr hart, gips- und kalkhaltig. In Gebieten mit Verkarstung besteht eine erhöhte Gefahr der Verunreinigung von der Oberfläche her.

Abgesehen von Gebieten mit starker Lössüberdeckung ist der Grundwasserleiter auch in den Buntsandsteingebieten gegen Schadstoffeinträge von der Oberfläche her nicht geschützt.

Raum Mitteldeutsches Grundgebirge

Das Grundgebirge wird aus paläozoischen Sedimentgesteinen, Vulkaniten, Plutoniten und Metamorphiten aufgebaut. Die Grundwasservorkommen weisen eine geringe bis höchstens mittlere Ergiebigkeit auf und befinden sich in geklüfteten und von Störungen durchsetzten,

stark gefalteten Sedimentgesteinen oder in klüftig-massigen Eruptivgesteinen. Die meisten paläozoischen Schichten sind jedoch schlechte bis sehr schlechte Grundwasserleiter. Grundwasser tritt im Grundgebirge an zahlreichen, meist aber wenig ergiebigen Spaltenquellen zu Tage. Das Wasser ist meist sehr weich, selten härter.

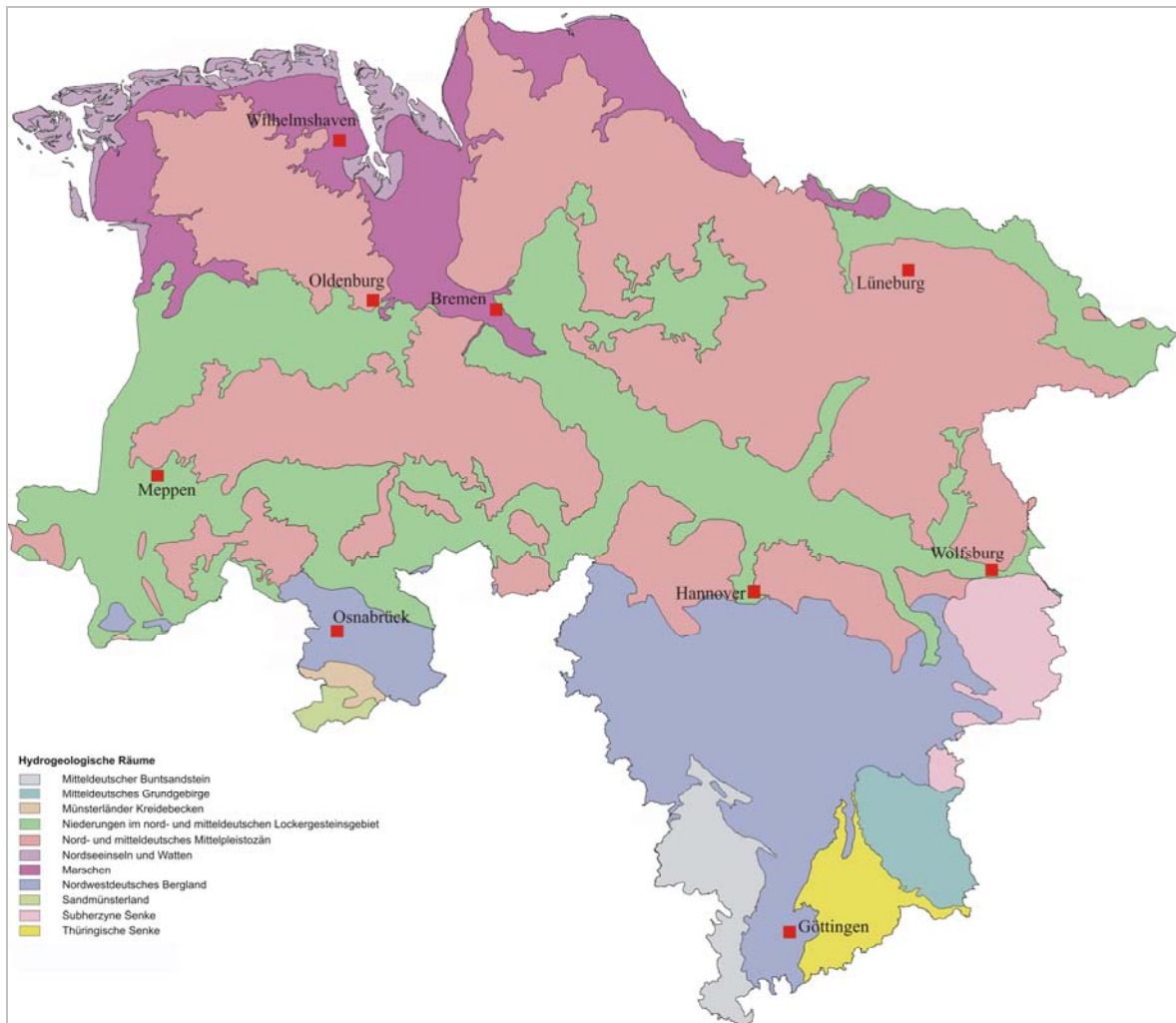


Abb. 21: Hydrogeologische Räume Niedersachsens (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007).

Einen Überblick über die hydrogeologischen, hydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse in den einzelnen Hydrogeologischen Räumen vermitteln verschiedene beim LBEG in digitaler Form vorliegende Karten (s. Kap. 8).

Die Hydrogeologischen Räume können weiter untergliedert werden, bis zu den Hydrostratigraphischen Einheiten, die den folgenden Tabellen und Abbildungen zu entnehmen sind.

Die Hydrostratigraphischen Einheiten werden von oben nach unten durchnummeriert. Dabei werden Grundwasserleiter mit dem Buchstaben L gekennzeichnet, Grundwassergeringleiter mit dem Buchstaben H. Wenn mehrere Leiter direkt aneinandergrenzen, werden sie als

Grundwasserleitergruppe, z. B. L4/7, zusammengefasst. Nicht alle in der Tabelle aufgeführten Einheiten kommen in ganz Niedersachsen vor. Ferner treten lokal weitere Einheiten auf, die in dieser Übersichtstabelle nicht aufgeführt sind.

Tab. 8: Hydrostratigraphische Gliederung Niedersachsens (REUTTER 2005), Durchlässigkeitsklassen s. Tabelle 9.

Hydrostratigraphische Einheit	Lithologische Ausprägung (überwiegend)	Kürzel GÜK 200	Kürzel Nds. (Beispiele aus GK 25, GK 50, GÜK 500)	Stratigraphie	Lithologische/Lithogenetische Einheit	Durchlässigkeitsklasse
L0	Abraum, Bauschutt, Müll	„y	qh(y)	Holozän	künstliche Aufschüttung oder Auffüllung, Tagebau verfüllt	11
H1	Torf, Schluff	Hh Hn Hm	qh//Hh qh//Hn qh//Hm qh/U/k	Holozän	Hoch- und Niedermoor, Anmoor, Auenlehm, Klei	10
L1.1	Sand oder Feinsand, z. T schluffig	„fS,pm „fS-U,pm „S,pm	qh(pm)	Holozän	perimarine Ablagerungen	12
L1.2	Sand, Kies, klüftiger Travertin	„d „S,a w,„f „Fss,l „mS „S,st „S,stw „S,wa „Kq	qh qw	Holozän, Pleistozän, Weichsel	Auensande, Dünensande, Flugsande, fluviatile Ablagerungen, limnische Ablagerungen, marine Sande, Strand- und Wattsedimente, Quellkalk	9
L1.3	Sand, Kies	w,„s „f+N w,„p-f w,„gf N	qw	Pleistozän, Weichsel	Flussschotter (Niederterrassen-Ablagerungen), Niederungssande, Schmelzwasserablagerungen	3
H2	Löss, Rutschmassen, Ton, Schluff	„Lo „Los	qw qp qee	Pleistozän, Weichsel und Eem	periglaziale Ablagerungen, Löss, Fließerden, Interglaziale, interstadiale Schluffablagerungen	5
L2.1	Sand, Kies	WA,„gf WA,„s	qWA	Pleistozän, Saale, Warthe-Stadium	Schmelzwasserablagerungen	3
L2.2	Kies	WA,G,gf	qWA	Pleistozän, Saale, Warthe-Stadium	Schmelzwasserablagerungen	2
H3	Geschiebemergel/-lehm, Schluff, Ton	D,„Lg	qD/U qD//Lg qD	Pleistozän, Saale, Drenthe-Stadium	Drenthe-Grundmoränen, Beckenablagerungen	5
H3.1	Geschiebemergel/-lehm, Schluff	D,„Lg	qD2	Pleistozän, Saale, Drenthe-Stadium	Drenthe2-Grundmoränen	5
H3.2	Geschiebemergel/-lehm, Schluff	D,„Lg	qD1	Pleistozän, Saale, Drenthe-Stadium	Drenthe1-Grundmoränen	5
L3	Sand, Kies	D,„gf D,„f D,„gf-f „kam D,„s s,„gf M e,„gf+M D,G	qD qM	Pleistozän, Elster bis Saale	Schmelzwasserablagerungen, Flussschotter (Mittelterrassen-Ablagerungen)	3

Tab. 8 (Fortsetzung).

Hydrostratigraphische Einheit	Lithologische Ausprägung (überwiegend)	Kürzel GÜK 200	Kürzel Nds. (Beispiele aus GK 25, GK 50, GÜK 500)	Stratigraphie	Lithologische/Lithogenetische Einheit	Durchlässigkeitsklasse
H4.1	Schluff, Ton	qL qL/e,S,b	qL qhol	Pleistozän, Elster, Holstein	Lauenburger Ton, Holstein-Beckenschluff	6
H4.2	Geschiebemergel/-lehm, Schluff, Ton	e,,b	qe qpa	Altpleistozän bis Elster	Elster-Grundmoränen, Beckenschluff	5
L4.1A	Sand, Kies	pee-e,S,f pee,S,f e,,f e,,gf O pe,,f pe,S,f pe-e,,f pe-e,S,f qp(a)	qp-qe qO	Pleistozän, Altpleistozän bis Elster	Schmelzwasserablagerungen, Flussschotter (Oberterrassen-Ablagerungen)	3
L4.1B	Sand und Kies oder Feinsand, z. T schluffig	e,,b oder e,,gf e,S,b+e,,gf H+O	qp-qe qO	Pleistozän, Altpleistozän bis Elster	Schmelzwasserablagerungen, Flussschotter (Oberterrassen- und Hochterrassen-Ablagerungen)	9
L4.1C	Feinsand, schluffig	e,,S,b	qp-qe	Pleistozän, Altpleistozän bis Elster	Beckenablagerungen	12
L4.2	Sand, Kies	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	qe	Pleistozän, Elster	Schmelzwasserablagerungen in tiefen Rinnen	2
HL4.3	Ton, Schluff	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	tplTT tplMo	Tertiär, Pliozän	Tergast-Ton und Monspeliensina-Schichten	10
L4.3	Sand	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	tplKS tmiGF tpl-tmi	Tertiär, Pliozän, Miozän	Kaolinsande, Glimmerfeinsand des Plio- und Ober-Miozän	3
H5	Ton, Schluff	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	tmiGTo	Tertiär, Miozän	Oberer Glimmerton	10
L5	Sand	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	tmiBS2 tmiOX	Tertiär, Miozän	Obere Braunkohlensande, marine Sande der Oxlund-Schichten	3
H6	Ton, Schluff	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	tmiHT	Tertiär, Miozän	Hamburg Ton	5
L6	Sand	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	tmiBS1 tmiBE	Tertiär, Miozän	Untere Braunkohlensande, marine Sande (Behrendorf-Schichten)	3
H7	Ton, Schluff	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	tmiGTu tmiBE tmiV	Tertiär, Miozän	Unterer Glimmerton (Behrendorf- und Vierlande-Schichten)	10
L7	Sand	olo	tolo	Tertiär, Oligozän	marine Chatt-Sande	9
H8.1	Ton, Schluff	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	tolRT	Tertiär, Oligozän	Rupelton, Chatt-Schluffe	10
H8.2	Ton	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	toluL	Tertiär, Oligozän	Lattorf-Ton	10
L8	Sand	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	tolN	Tertiär, Oligozän	Neuengammer Gassand	3
H9	Ton, Schluff, Braunkohle	in GÜK 200 nicht ausgegliedert	teo tpa	Tertiär, Eozän, Paläozän	Tonmergelgruppe	10

Tab. 8 (Fortsetzung).

Hydrostratigraphische Einheit	Lithologische Ausprägung (überwiegend)	Kürzel GÜK 200	Kürzel Nds. (Beispiele aus GK 25, GK 50, GÜK 500)	Stratigrafie	Lithologische/Lithogenetische Einheit	Durchlässigkeitsklasse
L9	Sand, Sandstein	teo+tpa eo	teoKS	Tertiär, Eozän, Paläozän	marine Ablagerungen, glaukonitisch, Kalksandsteine	9
H10	Kalkstein, Mergelstein	krma krca krsa krcc krcc-krca krcc-sa	krca krsa krcc	Oberkreide, Campan, Santon und Coniac	Kalkstein, Mergelstein, Eisenerz llsede	5
L10	Kalkstein, Mergelstein	krt krto	krt krto	Oberkreide, Turon	Weißpläner	4
H11	Mergelstein	in GÜK nicht ausgeliedert	krPR	Oberkreide, Turon	Rotpläner	10
L11	Kalkstein, Mergelstein	krc	krc	Oberkreide, Cenoman	Weißpläner	9
H12	Mergelstein, kieselig	krl,t kru2	krFM	Unterkreide, Alb	Flammenmergel	5
H13	Tonstein	in GÜK zusammengefasst mit Flammenmergel	krl/t	Unterkreide, Alb	Minimuston	6
L12	Sandstein	krl,s	krHI	Unterkreide, Alb	Hilssandstein	4
L13	Sandstein, Schluffstein	krlu	krOS	Unterkreide, Valangin-Alb	Osning-Sandstein	4
H14.1	Tonstein	krv krh+ krh krb+p krb krh-p	krv-krp/-t	Unterkreide, Valangin bis Apt	Unterkreide-Tonstein	6
H14.2	Trümmereisenerz	kru,e	kru,e	Unterkreide, Valangin bis Apt	Salzgitterfazies	11
L14	Sandstein, Schluffstein	in GÜK nicht ausgegliedert	krBS (krvBS)	Unterkreide, Valangin	Bentheimer Sandstein	9
L15	Sandstein	in GÜK nicht ausgegliedert, nur Wd ungegliedert	WdOK	Unterkreide, Wealden	Sandsteine der Bückeberg-Formation (Obernkirchener Sandstein)	9
H15	Tonstein	in GÜK nicht ausgegliedert, nur Wd ungegliedert	Wd/-t	Unterkreide, Wealden	Wealdentonstein der Bückeberg-Formation	6
H16	Tonmergel-, Mergelstein, Gipsstein	joM joM+S joPo	joM	Oberjura, Tithon	Serpulit, Münder Mergel	5
L16	Mergelstein, Kalkstein, Dolomitstein	joE joG joKI joK joG+E jo1 joox ox	joE joG joKI joK joG+E joox	Oberjura, Oxford bis Tithon	Eimbeckhäuser Plattenkalk, Gigas-Schichten, Kimmeridge, Korallenoolith	9
H17	Mergelstein, Kalkstein	in GÜK nicht ausgegliedert	joH	Oberjura, Oxford	Heersumer Schichten	5
H18	Tonstein, Schluffstein	jm	jm	Mitteljura, Dogger (Aalenium bis Callovium)		6
L17	Sandstein	in GÜK nicht ausgegliedert	jmC	Mitteljura, Dogger (Bathonium)	Cornbrash-Sandstein	9

Tab. 8 (Fortsetzung).

Hydrostratigraphische Einheit	Lithologische Ausprägung (überwiegend)	Kürzel GÜK 200	Kürzel Nds. (Beispiele aus GK 25, GK 50, GÜK 500)	Stratigraphie	Lithologische/Lithogenetische Einheit	Durchlässigkeitsklasse
H19	Ton-, Tonmergelstein, z. T. bituminös	ju jum juo juu tc pb tc+al	jupl ju juhe jutc jmal jusi	Unterja, Lias (Hettangium bis Toarcium) und Lias-Dogger (Toarcium-Aalenium)		6
L18	Sandstein, Tonstein	ko	ko	Oberer Keuper, Rhät	Rhät	4
H20	Mergelstein, Tonstein, dolomitisch	km	kmSM	Mittlerer Keuper, Gipskeuper	Steinmergel	6
L19	Sandstein	in GÜK nicht ausgegliedert	kmS	Mittlerer Keuper, Gipskeuper	Schilfsandstein	9
H21	Mergelstein, z. T. dolomitisch, Gips, Anhydrit	in GÜK nicht ausgegliedert	kmG	Mittlerer Keuper, Gipskeuper	Gipskeuper	10
H22	Tonstein, Sandstein, Dolomitstein, Kohle	ku	ku	Unterer Keuper, Lettenkohlenkeuper	Lettenkohlenkeuper	5
L20	Kalkstein	mo mo1 mo2	mo mo1 mo2	Oberer Muschelkalk	Ceratitenschichten (mo2), Tochtenkalk (mo1)	9
H23	Mergelstein, Dolomit, Gips, Anhydrit	mm	mm	Mittlerer Muschelkalk		10
L21	Kalkstein	mu	mu	Unterer Muschelkalk	Wellenkalk, Schaumkalk, Terebratelbänke, Oolithbänke	9
H24	Tonstein, Schluffstein, Gips, Anhydrit	so	so	Oberer Buntsandstein, Röt-Schichten	Röt-Schichten	6
L22	Sandstein, Schluffstein, Tonstein	smS smH smD smV sm	smS smH smD smV sm	Mittlerer Buntsandstein, Solling-, Hardeggen-, Detfurth-, Volpriehausen-Folge	Solling-, Hardeggen-, Detfurth-, Volpriehausen-Folge	4
L23	Kalkstein	in GÜK nicht ausgegliedert	suR	Unterer Buntsandstein	Oolithischer Kalkstein (Rogenstein)	9
H25	Tonstein, Schluffstein, Sandstein	su suB suG suG+S	su suB	Unterer Buntsandstein	Tonsteine mit Sandsteinbänken und Bröckelschiefer-Folge	10
H26	Tonstein, Anhydrit	in GÜK nicht ausgegliedert	z4T-z6	Perm, Zechstein, Aller-Ohre- und Friesland-Serie	Zechstein 4-6	10
L24	Gips, Anhydrit, Dolomitstein	in GÜK nicht ausgegliedert	z3D z3An	Perm, Zechstein, Leine-Serie	Plattendolomit und Hauptanhydrit	9
H27	Tonstein	in GÜK nicht ausgegliedert	z3T	Perm, Zechstein, Leine-Serie	Grauer Salzton	7
L25	Dolomitstein	in GÜK nicht ausgegliedert	z2D	Perm, Zechstein, Staßfurt-Serie	Staßfurtdolomit	3

Tab. 8 (Fortsetzung).

Hydrostratigraphische Einheit	Lithologische Ausprägung (überwiegend)	Kürzel GÜK 200	Kürzel Nds. (Beispiele aus GK 25, GK 50, GÜK 500)	Stratigrafie	Lithologische/Lithogenetische Einheit	Durchlässigkeitsklasse
H28	Anhydrit	in GÜK nicht ausgegliedert	z1AN	Perm, Zechstein, Werra-Serie	Werraanhydrit	5
L26	Dolomitstein, Kalkstein, Tonstein, Anhydrit/Gips, Steinsalz	z1D+ z1K	z1D+ z1K	Perm, Zechstein, Werra-Serie	Werradolomit und Zechsteinkalk	3
L27	Konglomerate, Tonstein, Sand und Sandstein	ro ru	ro ro2 ru	Perm, Oberrotliegendes (Saxon) und Unterrotliegendes	Sedimentite des Rotliegenden, Walkenrieder Sand	4
H29	Rhyolith, Granitporphyr, Porhyrit	P r,R	ruP +R +Gp	Perm, Rotliegendes	Vulkanite, Ganggesteine und Tuffe des Rotliegenden	10
H30	Sandstein, Tonstein, Steinkohle	cw	cw	Oberkarbon	Sedimentite des Karbon	10
H31	Kersantit	Ks	cs-cd +Ke	Oberkarbon (Silesium) und Unterkarbon	Ganggesteine des Karbon	10
H32	Granit, Gabbro, Norit, Harzburgit	G Gb cs,G	cw-cst +G +Gb	Oberkarbon, Westfal-Stefan	Plutonite	10
H33	Grauwacken, Tonschiefer, Quarzit, Lydit, Konglomerate, Olisthostromablagerungen	cn cd,qs cd,TN cdAC, cdGQ cdO, cd, cdT	cn cd cdGT cdAC	Ober-Unterkarbon	Sedimentite	10
H34	Tonschiefer, Kieselkalk, Grauwacke, Quarzit, Kalkstein, Sandstein, Kiesel-schiefer	do PS du dmW do,i	SG dm SH doB du	Oberdevon bis Unterdevon	Sedimentite	10
LH34	Sandstein, Quarzit, Grauwacken	du	du	Unterdevon	Kalebergssandstein (in GÜK nicht ausgegliedert)	4
L28	Riffkalkstein	do, k	do, k	Ober-Mitteldevon, Givet-Adorf	Massenkalk	4
H35	Diabas, Keratophyr, Spilit	,Dt ,D	+Dt +Kt	Mitteldevon	Vulkanite	10
H36	Tonschiefer	si	si	Silur	Graptolithenschiefer	10
H37	Gneis	pr,,mt GNE	pr//mt +Gne	Präkambrium	Metamorphite	7

Den Grundwasserleitern und Grundwasserge-
 ringleitern werden entsprechend der Hydrogeo-
 logischen Kartieranleitung (AD-HOC-AG HYD-
 ROGEOLOGIE 1997) Durchlässigkeitsklassen
 zugeordnet (Tab. 9).

Tab. 9: Differenzierung der Grundwasserleiter und
 Grundwassergeleiter nach Durchlässigkeits-
 klassen (REUTTER 2005).

Attribut Durchlässigkeit		Datenbank
	k_f -Wert [m/s]	Durch- lässigkeits- klasse
sehr hoch	$> 1E-2$	1
hoch	$> 1E-3 - 1E-2$	2
mittel	$> 1E-4 - 1E-3$	3
mäßig	$> 1E-5 - 1E-4$	4
gering	$> 1E-7 - 1E-5$	5
sehr gering	$> 1E-9 - 1E-7$	6
äußerst gering	$< 1E-9$	7
sehr hoch bis hoch	$> 1E-3$	8
mittel bis mäßig	$> 1E-5 - 1E-3$	9
gering bis äußerst gering	$< 1E-5$	10
stark variabel		11
mäßig bis gering	$> 1E-6 - 1E-4$	12

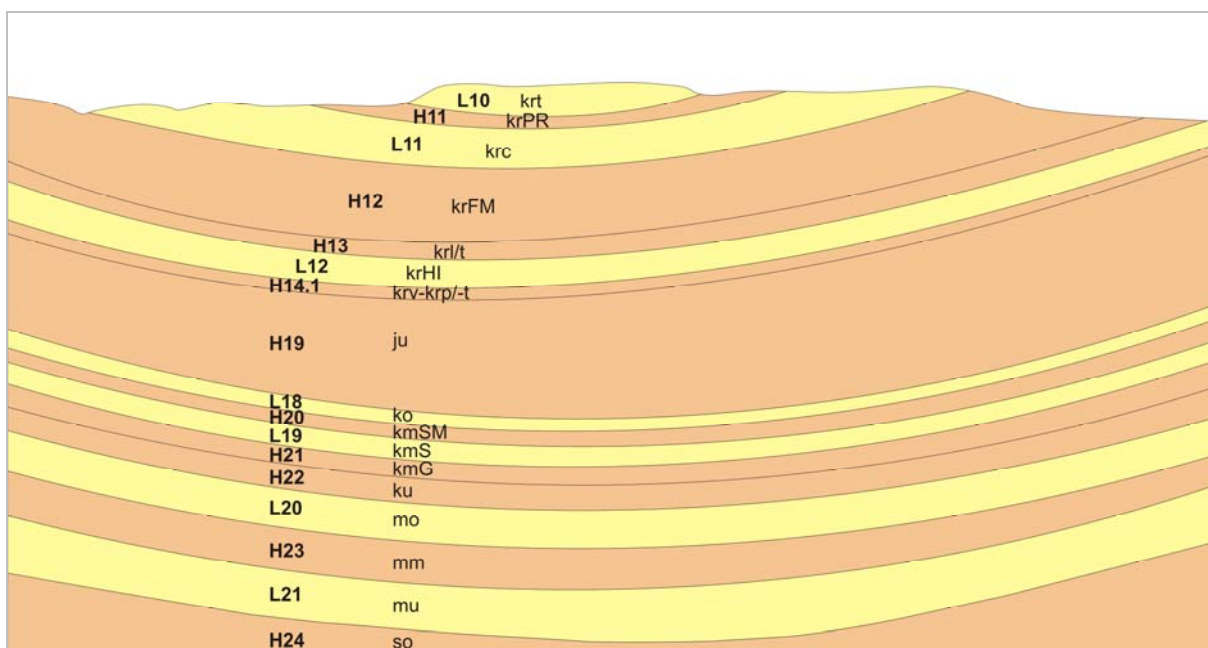


Abb. 22: Schematischer hydrogeologischer Schnitt, Festgestein Süd-Niedersachsen, Mesozoikum, ungestört
 (REUTTER 2005).

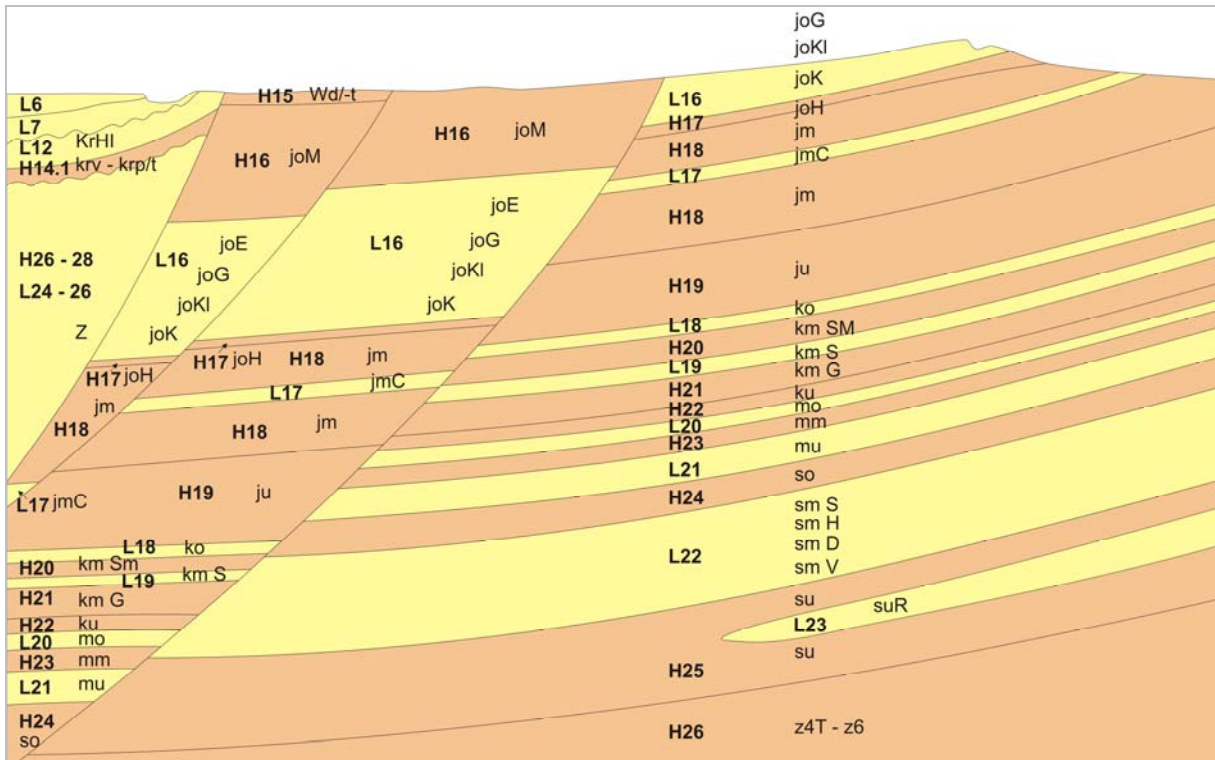


Abb. 23: Schematischer hydrogeologischer Schnitt, Festgestein Süd-Niedersachsen, Mesozoikum, gestört (REUTTER 2005).

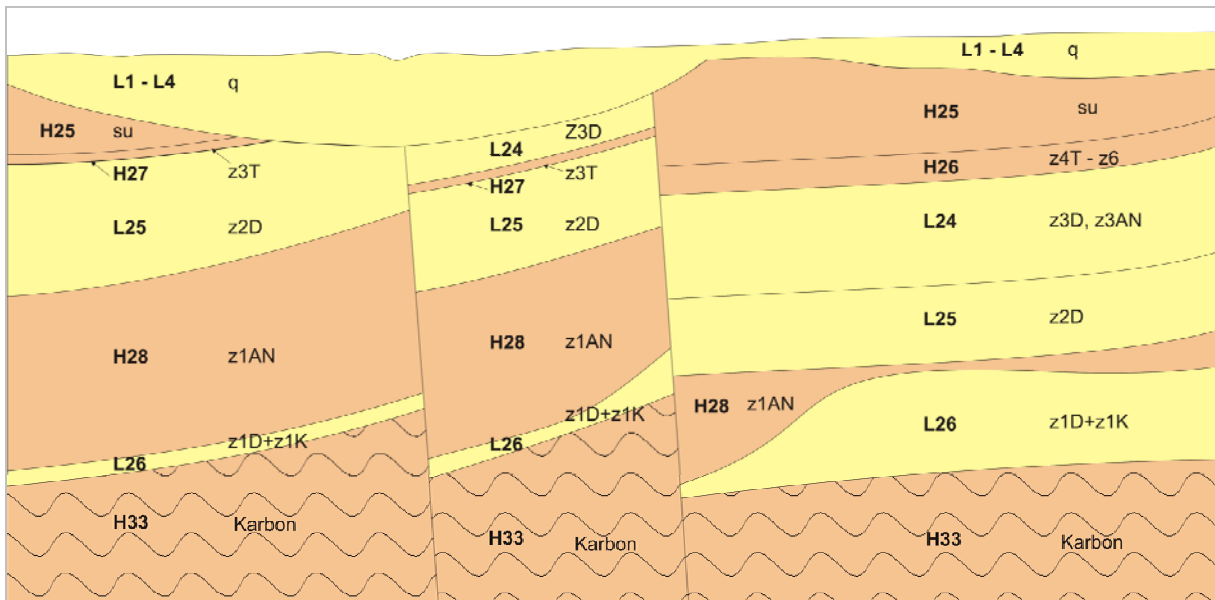


Abb. 24: Schematischer hydrogeologischer Schnitt, Festgestein Süd-Niedersachsen, Paläozoikum, Südharz (REUTTER 2005).

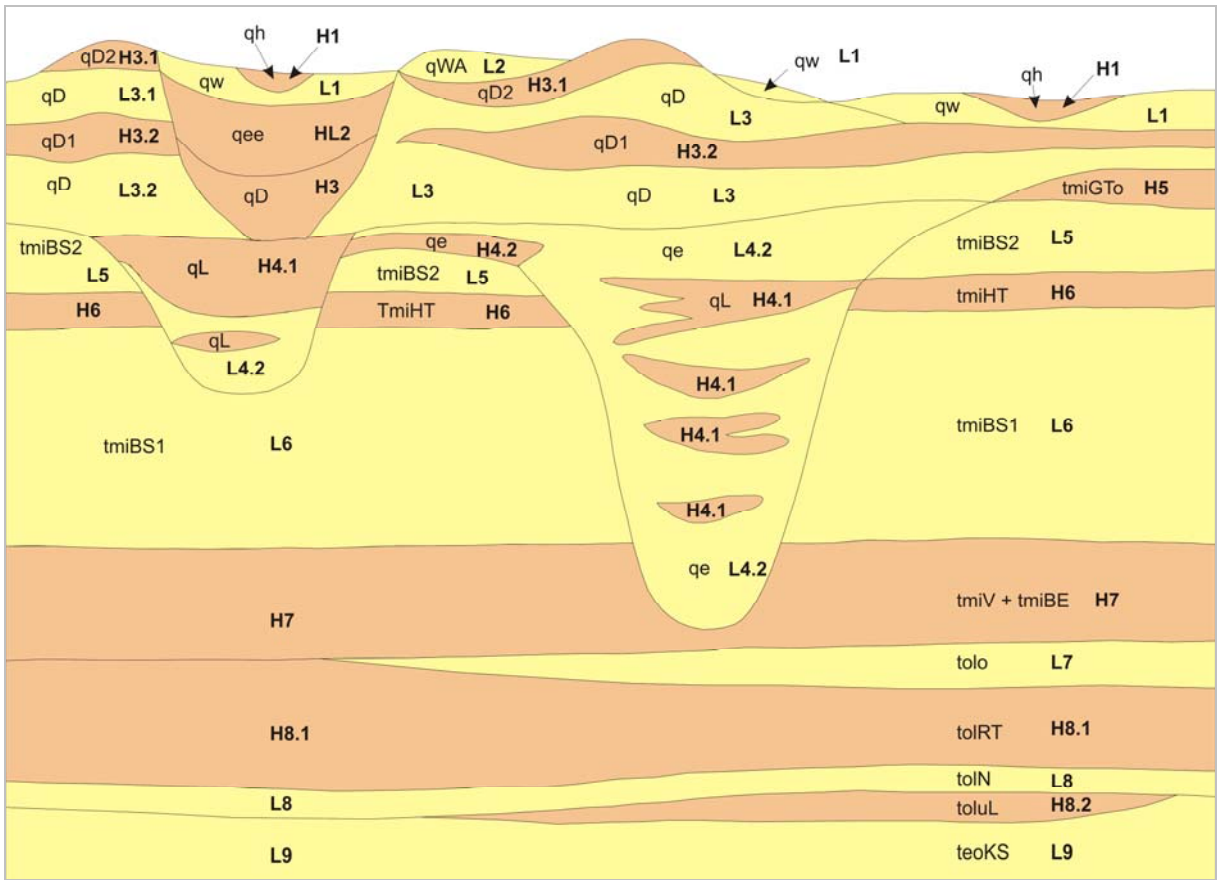


Abb. 25: Schematischer hydrogeologischer Schnitt, Lockergestein Nordost-Niedersachsen, Känozoikum (REUTTER 2005).

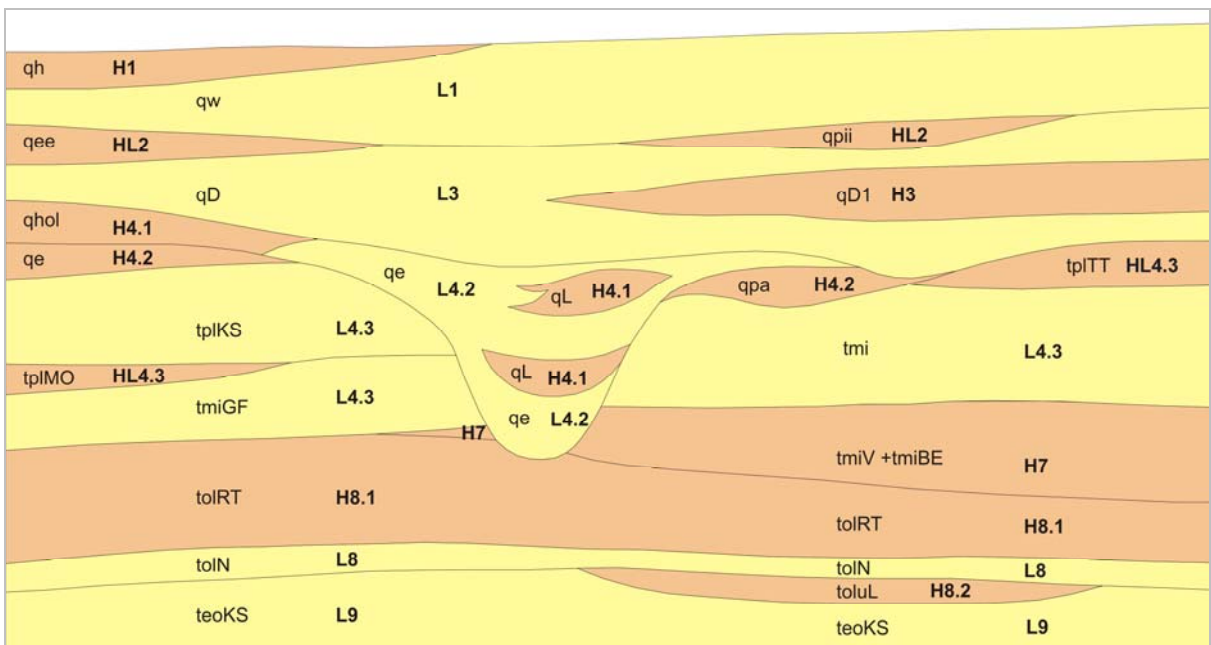


Abb. 26: Schematischer hydrogeologischer Schnitt, Lockergestein Nordwest-Niedersachsen, Känozoikum (REUTTER 2005).

10.2 Bodenregionen und Bodengesellschaften in Niedersachsen

Im Folgenden wird ein Überblick über die Böden Niedersachsens gegeben. Die Bodenregionen bzw. -großlandschaften werden mit je einem zusammenfassenden Text und einer Schnittdarstellung mit allen wesentlichen bodenkundlichen Faktorenkombinationen wie Oberflächenform, Hauptnutzungsart und Ausgangsgestein der Bodenbildung vorgestellt (aus NLFB 1997).

Die Verbreitung der verschiedenen Böden Niedersachsens ist nicht zufällig. Das Zusammen-

spiel verschiedener Bodenbildungsfaktoren führt zu charakteristischen Bodenvergesellschaftungen unterschiedlicher Komplexität.

Die Bodenübersichtskarte in Abbildung 27 gibt mit den Bodenregionen und Bodengroßlandschaften einen Gesamtüberblick zur bodenkundlichen Gliederung des Landes. Der unter der Bodenübersichtskarte gezeigte Schnitt durch die Bodenregionen Niedersachsens stellt den Zusammenhang zwischen den im Folgenden dargestellten Teillandschaftsschnitten her (Abb. 28, Schnitt A). Er gibt einen Überblick zu den Gesteinsverhältnissen und Oberflächenformen.

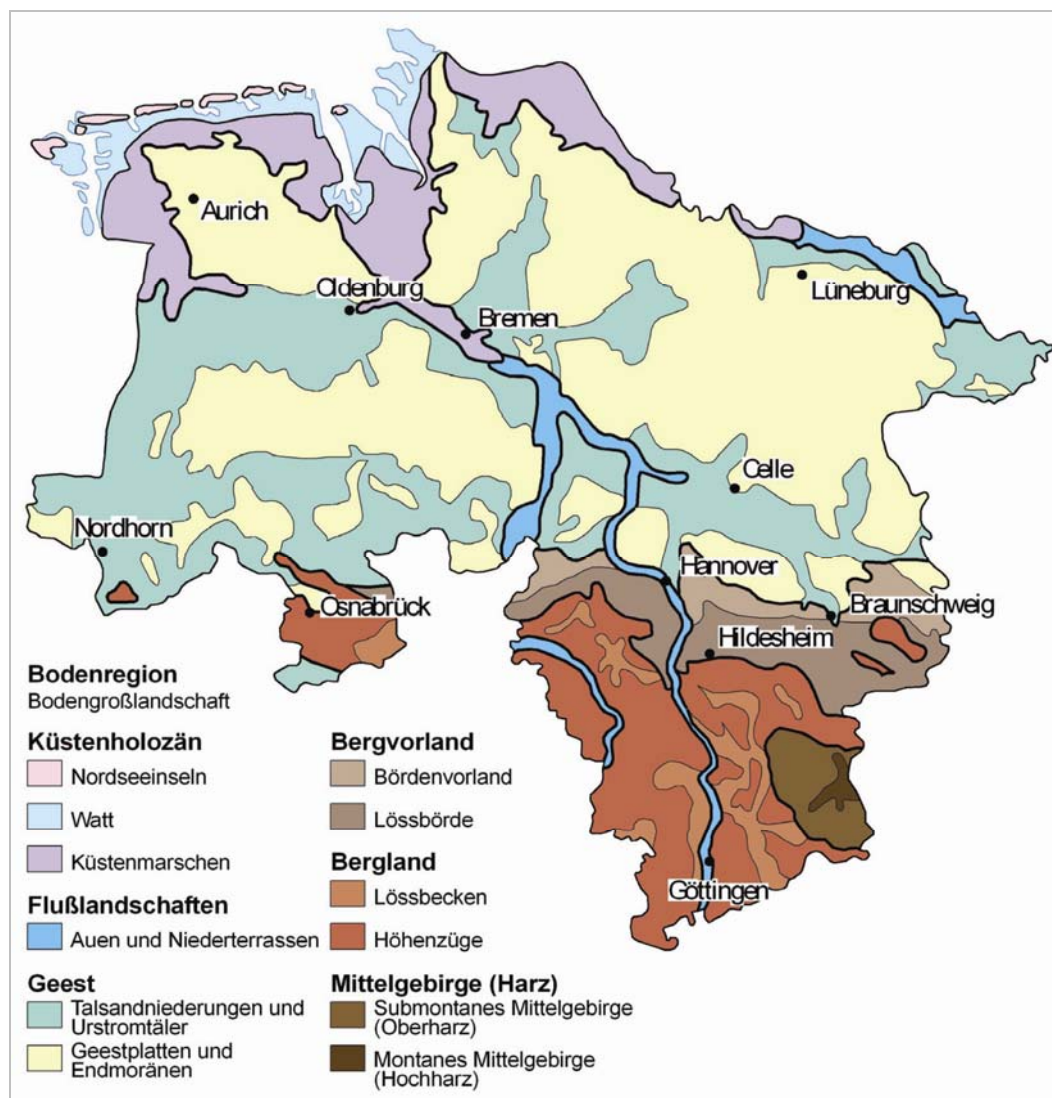


Abb. 27: Bodenregionen und Bodengroßlandschaften von Niedersachsen (GEHRT & SBRESNY 1999).

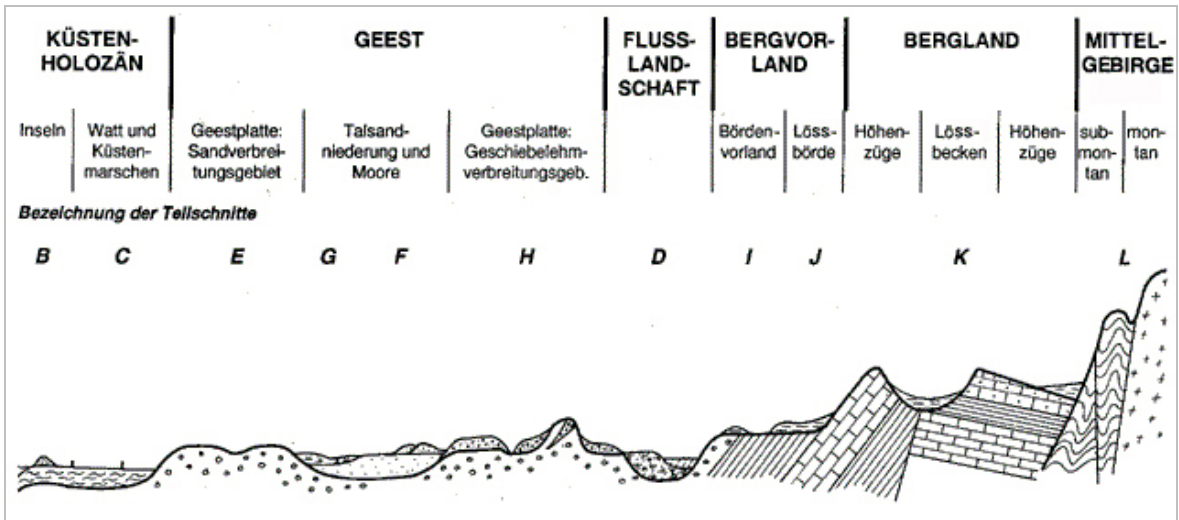


Abb. 28: Schnitt A – Schematische Darstellung der Bodenregionen und -großlandschaften von Niedersachsen.

Die Großbuchstaben verweisen auf die im Folgenden dargestellten Teilschnitte.

Bodenregion des Küstenholozäns

Diese Region wird durch den Einfluss der Nordsee geprägt. Die marinen Ablagerungen bilden vorwiegend ebene Oberflächenformen. Bei vorherrschenden westlichen Winden wird aus den Strandsedimenten der Inseln Sand ausgeweht und als Düne abgelagert. Der Was-

serhaushalt vieler Böden wird darüber hinaus durch den Gezeiteneinfluss bestimmt. Das Klima ist einerseits durch relativ hohe Niederschläge und andererseits durch relativ warme Winter und vergleichsweise ausgeglichene Sommer gekennzeichnet. Die hohen Niederschläge (700–800 mm/a) bewirken, dass die Bodenbildung beschleunigt wird und die bindigen Böden der Marschen eher zu nass sind. Die Bodenregion des Küstenholozäns gliedert sich in die Bodengroßlandschaften der Nordseeinseln, des Watts und der Küstenmarschen.

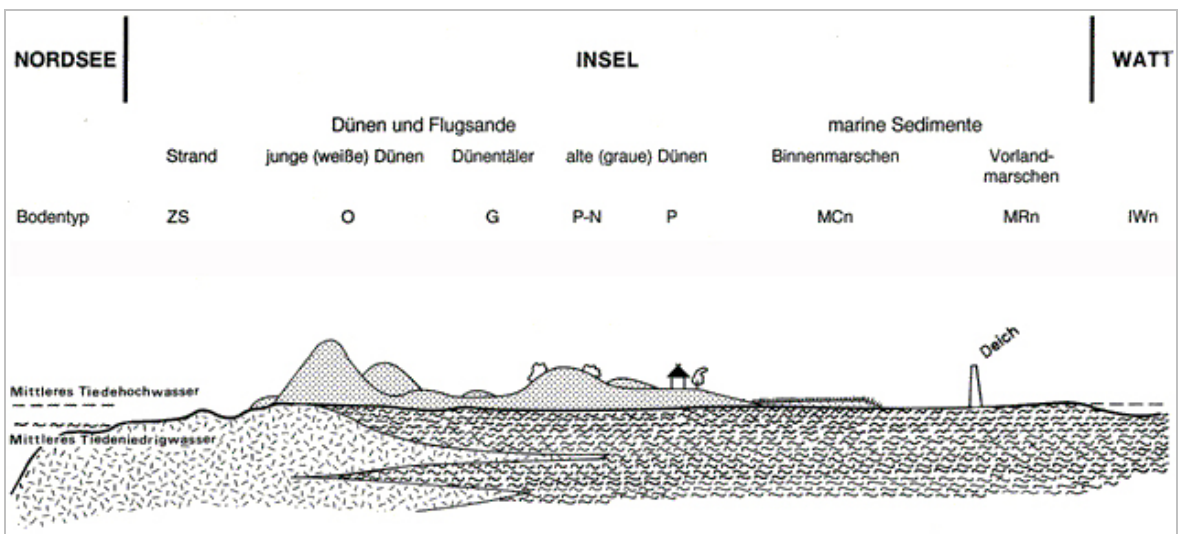


Abb. 29: Schnitt B – Idealisierter Schnitt durch die Bodengroßlandschaft der Nordseeinseln (Entwurf: E. Gehrt).

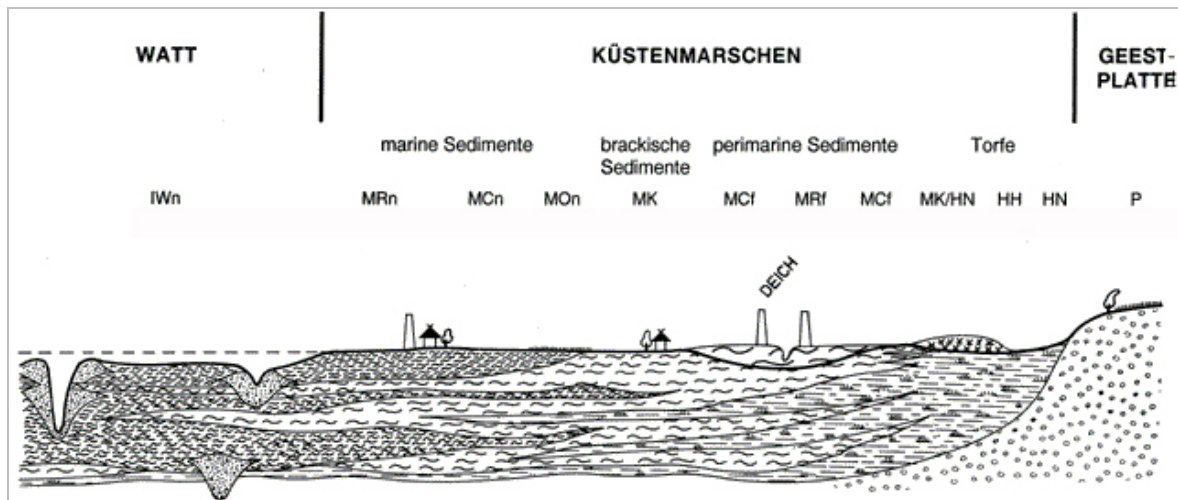


Abb. 30: Schnitt C – Idealisierter Schnitt durch die Bodengroßlandschaft der Küstenmarsch mit Angaben zum Ausgangs-substrat (Entwurf: E. Gehrt).

Bodenregion der Flusslandschaften

Die größeren Talauen bilden mit ihren besonderen Sedimenten, Oberflächenformen, ihrem Wasserhaushalt und einem spezifischen Lokalklima eine eigenständige Bodenregion. Diese Flusslandschaften werden nur gering von den umgebenden Bodenlandschaften beeinflusst. So sind z. B. die Talauen von Weser, Elbe und Leine mit ihren fruchtbaren Böden in die wesentlich ärmeren Landschaften der Geest eingebettet und wirken im Landschaftsgefüge als Fremdlinge.

Im Gegensatz dazu werden die kleineren Talauen dominant von der Umgebung geprägt und sind deshalb Teil dieser Landschaften. So sind beispielsweise diese kleinen Talauen in den Sandlößgebieten der Geest mit sandlössbürtigen Sedimenten verfüllt. Im Bergland werden diese Täler von randlichen Schwemmfächern geprägt. Zum Teil ist hier kaum ein eigenständiger Sedimentationskörper der Aue zu erkennen.

Die Bodenregion der Flusslandschaften lässt sich nach ihrer Entstehung in die holozänen Talauen aus der heutigen Warmzeit und die weichselzeitlichen Niederterrassen aus der letzten Eiszeit gliedern (vgl. Abb. 31, Schnitt D).

Die Talauen sind fast lückenlos mit warmzeitlichen Auelehmdecken bedeckt. Diese wurden

in mehreren Phasen abgelagert und lassen sich z. T. mit den Siedlungsphasen korrelieren. In der Regel sind nach der Sedimentausbildung drei Komplexe (ältester, älterer und jüngerer Auelehm) zu unterscheiden. Die ältesten Auelehme sind häufig sehr tonig und tragen z. T. einen schwarzen, reliktschen Boden. Die älteren Auelehme sind im Oberboden entkalkt. Die jüngeren Auelehme wurden zum großen Teil infolge der mittelalterlichen und neuzeitlichen Bodenerosion im Oberlauf gebildet und sind noch nicht entkalkt. Durch den langen Transportweg im Wasser veränderten sich die Kornverteilung und die Eigenschaften des erodierten Materials, so dass mit den Auelehmen ein neues Substrat entstand.

Die Oberflächenformen sind durch die Dynamik des Flusses geprägt. Grundsätzlich sind zwei Formen der Auelehmablagerung zu unterscheiden. In Abbildung 31 (Schnitt D) ist die Ablagerungsform mit terrassenförmiger Lagerung dargestellt. Die älteren Auelehme finden sich flussfern in höherer Lage und leiten zu den Niederterrassen über. Sie werden nur noch bei extremem Hochwasser überflutet. In anderen Bereichen finden sich auch vertikale Gliederungen. Hier überdecken die jüngeren die jeweils älteren Auelehme. Dieser Lagerungstyp findet sich bei geringerem Längsgefälle in Breitlalschnitten und in Senkungsgebieten.

Die Böden der Auen liegen im Schwankungsbereich des vom Fluss bestimmten Grundwassers. Typisch ist auch die schon genannte Überflutung bei Hochwasser. In Gebieten, in denen der Grundwassereinfluss nur bei den kurzfristigen Überflutungen im Oberboden wirksam wird, finden sich Auenböden. Diese sind aufgrund ihrer hohen biologischen Aktivität homogen braun gefärbt. Bei gestörter biologischer Aktivität ist die Sedimentschichtung erhalten. Bei steigendem Grundwassereinfluss bildeten sich Gleye. Stärkere Grundwassereinflüsse sind am rostigen Fleckenbild zu erkennen. In den tonigen, älteren Auelehmen ist häufig auch ein Stauwassereinfluss erkennbar (Pseudovergleyung: Bodentyp G-S). Die Senken der Talauen und des Randbereiches zur Niederterrasse sind häufig sowohl durch

Grundwassereinfluss und Pseudovergleyung als auch durch lang anhaltende Überflutung besonders vernässt und daher als Grünland genutzt.

Die Niederterrassengebiete sind hochwasserfrei. In tieferen Bereichen ist aber ein Grundwassereinfluss vorhanden. In alten Rinnen finden sich jüngere, kolluviale Sedimente oder Niedermoore. Flussnah treten kaltzeitliche Hochflutlehmdecken und z. T. holozäne Dünen auf. Auf den geringmächtigen Hochflutlehmdecken, die auch häufig auskeilen, entwickelten sich gut durchlüftete Braunerden und Parabraunerden. In den alten Rinnen finden sich vorwiegend Gleye. Die Dünen werden durch junge unentwickelte Rohböden und Syroseme geprägt.

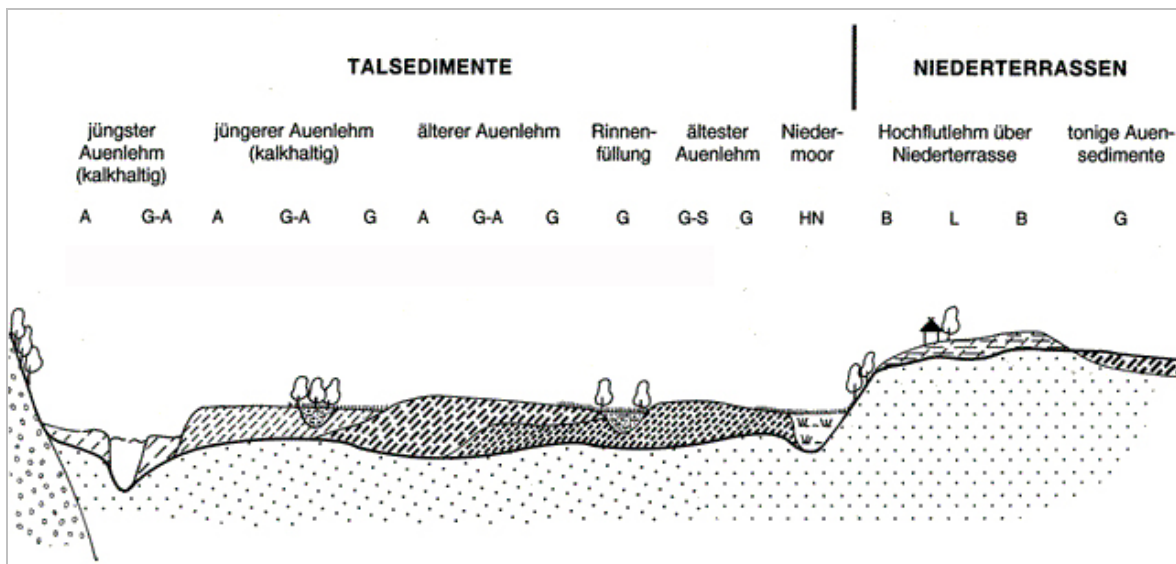


Abb. 31: Schnitt D – Idealisierter Schnitt durch die Bodenregion der Flusslandschaften mit Angaben zum Ausgangssubstrat (Entwurf: K.-H. Oelkers).

Bodenregion der Geest

Die Geest ist eine Altmoränenlandschaft und wurde von den Gletschern der vorletzten Eiszeit geprägt. Diese dehnten sich, von Norden kommend, bis an den Harzrand und in das Bergland aus. Die Landschaft gliedert sich in Grundmoränen, Endmoränen, Sander und Urstromtäler. Aufgrund verschiedener Eisvorstöße und der anschließenden Überprägung ist der räumliche Zusammenhang zwischen die-

sen Gliedern im Einzelnen schwer erkennbar. Aus bodenkundlicher Sicht werden der grundwassernahe Teil (Talsandniederungen und Urstromtäler, s. Abb. 32, Schnitt E) und der grundwasserferne Teil (Geestplatten und Grundmoränen, Endmoränen und Sander) getrennt. In der letzten Warmzeit wurden durch eine intensive Bodenbildung die Nährstoffe weitgehend ausgewaschen. In der darauf folgenden Kaltzeit sind die Sedimente und Böden unter Dauerfrostbedingungen stark verändert,

verspült oder verweht worden. Regional findet sich eine Differenzierung der Sande: Im Westen sind sie häufig feiner (Feinsande) als im Osten (Mittelsande), und im Westen haben die Flugsande eine größere Verbreitung.

Die Geest ist als Folge ihrer Entstehungsgeschichte eine Landschaft mit vergleichsweise nährstoffarmen Böden. Durch den nach Osten abnehmenden Einfluss des Meeres (maritim-kontinentaler Klimawandel) ergibt sich in der Geest eine klimatische Differenzierung. So sinken die Niederschläge im Jahresmittel von etwa 800 mm an der Küste auf ca. 550 mm in Ostniedersachsen ab. Die Jahresmitteltemperatur sinkt von 8,5 auf 8 °C. Für die Bodenentwicklung und -eigenschaften ergibt sich hieraus eine in Richtung Osten abnehmende Sickerwasserbildung und Vernässung, Torfbildung, Versauerung und Stoffverlagerung. Die Folge ist eine stärkere Verbreitung von Stauwasserböden, Mooren und Podsolen im Westen sowie Braunerden und Rankern im Osten.

Trotz der vergleichsweise armen Standorte wird die Geest vom Menschen seit langem landwirtschaftlich genutzt. Die Böden wurden dabei z. T. stark verändert.

- Die Nutzung führte örtlich zu einer weiteren Verschlechterung oder Zerstörung. Durch Rodung und Übernutzung kam es im Mittelalter und der Neuzeit zu einer um-

fangreichen Erosion durch Wind, die bis zur Dünenbildung führte. So versauerten die Böden infolge der Beweidung mit Schafen und Ausbreitung der Heidevegetation (Heidepodsole). Die Moore wurden durch die Entwässerung und Torfnutzung stark verändert.

- In anderen Teilen führte die menschliche Tätigkeit zu einer nachhaltigen Bodenverbesserung. So entstanden durch die jahrhundertelange Plaggenwirtschaft vor allem westlich der Weser vergleichsweise fruchtbare Böden mit hohem Humusgehalt (Plaggenesche). In diesem Jahrhundert wurden durch Entwässerung und Tiefumbruch ehemals zu nasse Standorte ackerfähig.

Die Bodenregion der Geest nimmt mit 64 % Flächenanteil den größten Teil Niedersachsens ein. Die durch Torfbildung geprägten Bodenlandschaften sind großflächig in die Talsandniederungen eingebettet. Sie entstanden im feuchteren Küstenklima ebenso wie auf den Geestplatten. Die Moorgebiete werden deshalb zusammenfassend in einem Extraschnitt dargestellt (Abb. 33, Schnitt F). Die Geestplatten werden entsprechend der hauptsächlich vorkommenden Ausgangsgesteine der Bodenbildung mit zwei Schnitten (Abb. 34, Schnitt G und Abb. 35, Schnitt H) dargestellt.

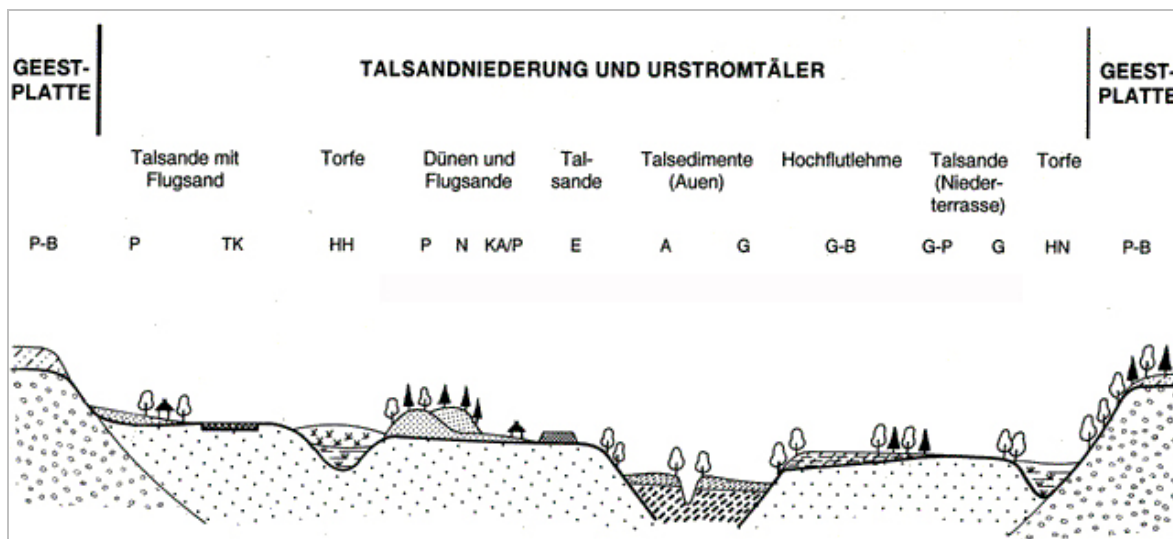


Abb. 32: Schnitt E – Idealisierter Schnitt durch die Bodengroßlandschaft der Talsandniederungen der Geest mit Angaben zum Ausgangssubstrat (Entwurf: G. Roeschmann).

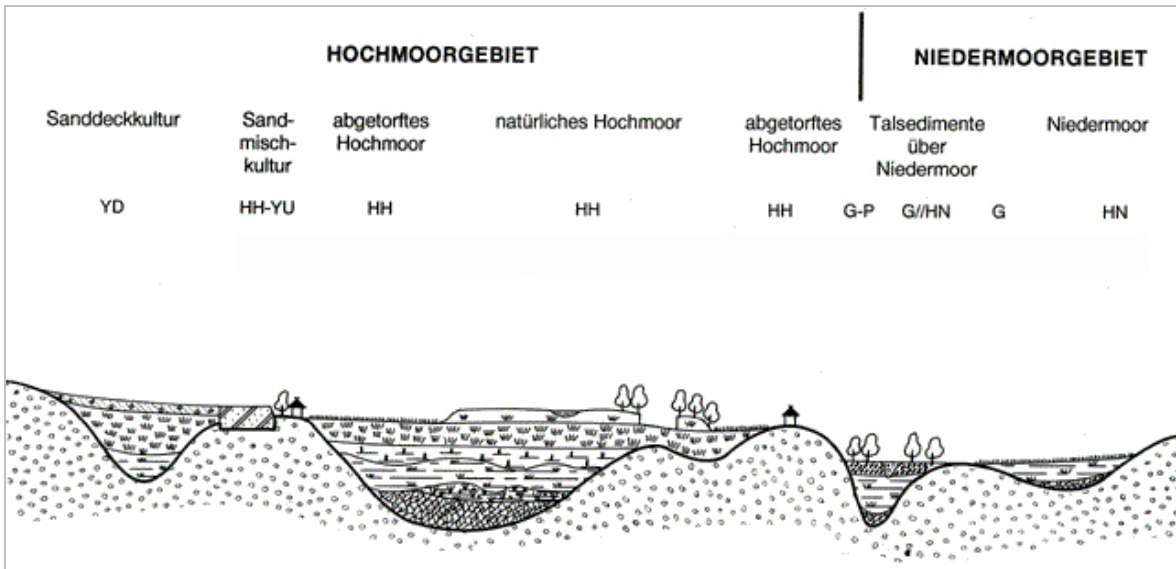


Abb. 33: Schnitt F – Idealisierter Schnitt durch die Bodenlandschaft der Mooregebiete der Geest mit Angaben zum Ausgangssubstrat (Entwurf: K.-H. Oelkers).

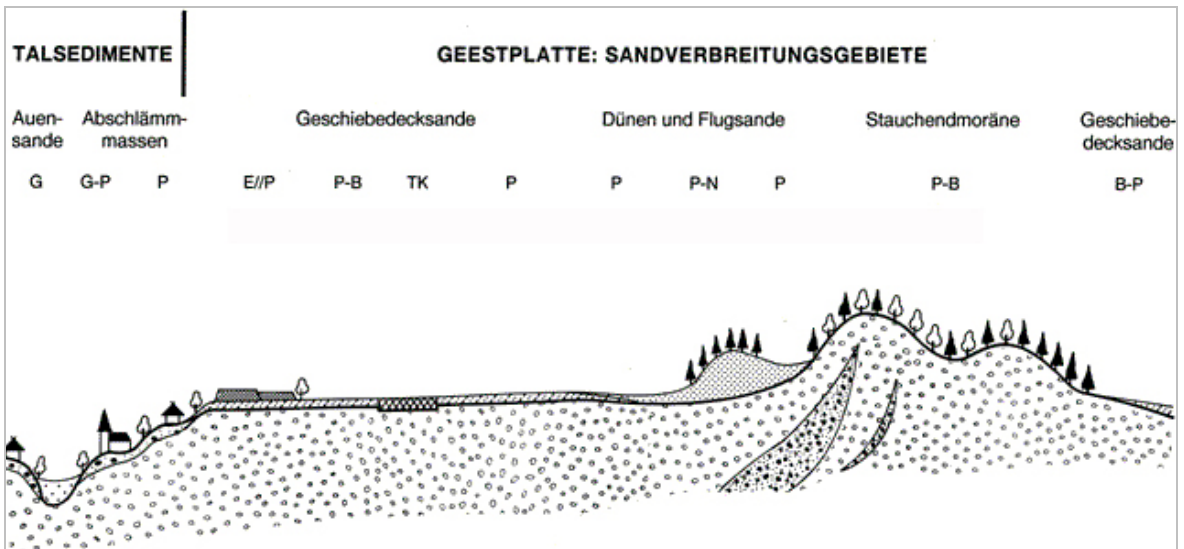


Abb. 34: Schnitt G – Idealisierter Schnitt durch die Bodenlandschaft der Sandverbreitungsgebiete der Geestplatten mit Angaben zum Ausgangssubstrat (Entwurf: G. Roeschmann).

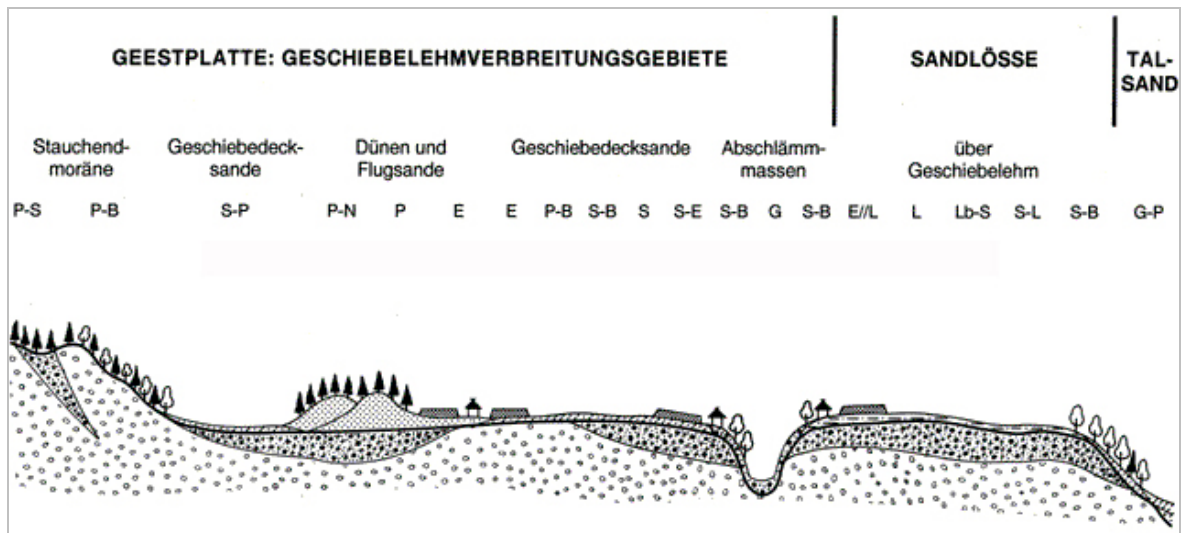


Abb. 35: Schnitt H – Idealisierter Schnitt durch die Bodenlandschaft Geschiebelehmverbreitungsgebiete der Geestplatten mit Angaben zum Ausgangssubstrat (Entwurf: G. Roeschmann).

Bodenregion des Bergvorlandes

Zwischen der Geest und der Berglandschwelle verläuft ein 20–50 km breiter Gürtel, der einerseits durch Löss- und Sandlössablagerungen, andererseits durch die in weiten Teilen darunter auftretenden Ton-, Sand- und Kalksteine des Erdmittelalters und die ebenen Flussterassen und Ablagerungen der Eiszeit geprägt ist. Neben diesen Gesteinen sind die vorherrschenden ebenen bis flachwelligen Oberflächenformen als verbindender Faktor zu nennen.

Mit zunehmender Entfernung von der Küste sind in der Bergvorlandregion unterschiedliche klimatische Bedingungen vorhanden. So sind im Osnabrücker Raum mit 700–800 mm noch erkennbar höhere Niederschläge zu verzeich-

nen. Im Braunschweiger Raum nehmen die Niederschläge auf unter 700 mm ab. Mit im Mittel kälteren Wintern und wärmeren Sommern sind kontinentale Einflüsse erkennbar. Die mit unter 600 mm niedrigen Niederschläge im Ostbraunschweigischen Hügelland sind auf die Lee-Einflüsse im Regenschatten des Harzes zurückzuführen.

Die Bergvorlandregion gliedert sich, getrennt durch die von Westen nach Osten verlaufende nördliche Lössgrenze, in die Börde und das Bördenvorland (s. Abb. 36, Schnitt I und Abb. 37, Schnitt J). Die Börden sind durch die flächenhaft dominierenden Lössdecken geprägt. Das Bördenvorland ist einerseits durch geringmächtige Sandlössse und andererseits durch oberflächennah anstehende Gesteine des Erdmittelalters charakterisiert.

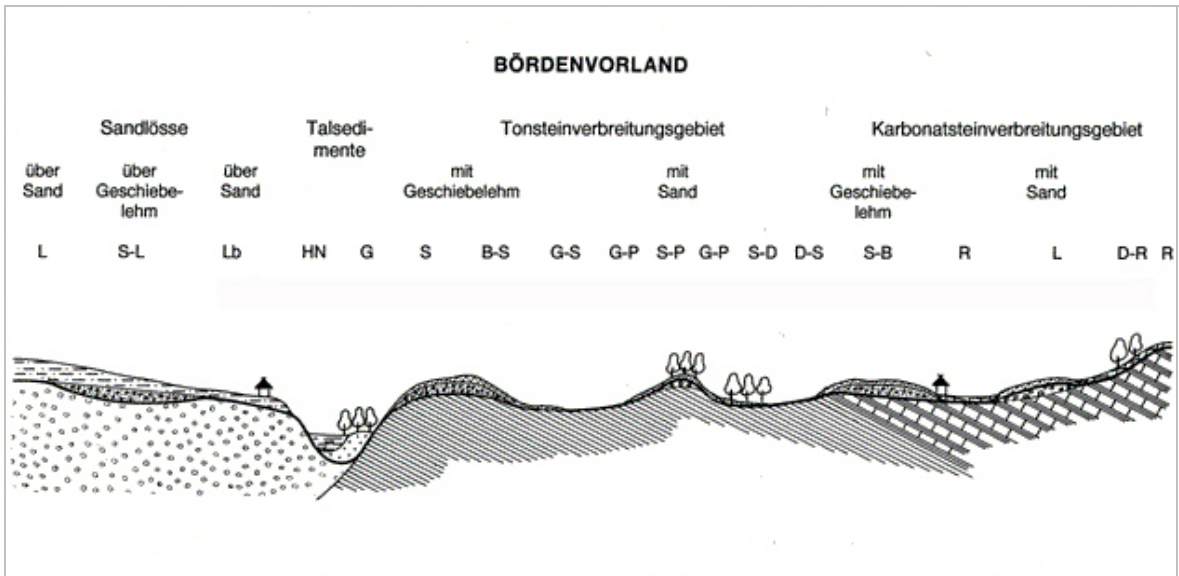


Abb. 36: Schnitt I – Idealisierter Schnitt durch die Bodengroßlandschaft des Bördenvorlandes mit Angaben zum Ausgangssubstrat (Entwurf: E. Gehrt).

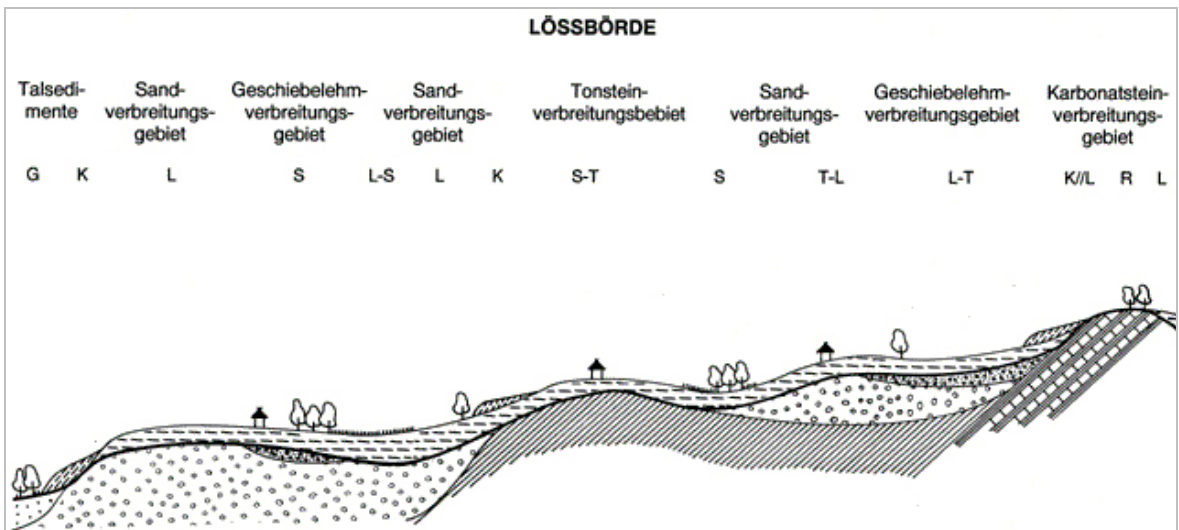


Abb. 37: Schnitt J – Idealisierter Schnitt durch die Bodengroßlandschaft der Lössbörde mit Angaben zum Ausgangssubstrat (Entwurf: E. Gehrt).

Bodenregion des Berglandes

Südlich der flachwelligen Lössböden sind Höhenzüge erkennbar, die sich mit 300–500 m ü. NN deutlich über das Flachland erheben. Diese Höhenzüge bilden zusammen mit den dazwischen liegenden Becken die charakteristische Bodenregion des Berglandes (s. Abb. 38, Schnitt K). Sie wurden durch eine bis in die Eiszeit anhaltende Ausräumung oder Absenkung der Becken herausgearbeitet. Der Übergang von den Höhenzügen zu den Becken liegt in der Nähe des Harzes und des Sollings knapp unter 240 m ü. NN. Nach Norden sinkt diese Grenze auf etwa 170 m ü. NN. Im Bereich der Höhenzüge dominieren Hangneigungen über 3, während die Oberflächen der Becken in der Regel unter 3 geneigt sind. Durch die Höhenunterschiede von 200–300 m ergibt sich ein deutlicher klimatischer Wechsel. Die Jahresdurchschnittstemperatur der Becken liegt mit etwa 8–9 °C etwa 1–2 °C höher als im Bereich der Höhenzüge. Dagegen sind die Jahresniederschläge in den Becken mit 650–750 mm deutlich niedriger als die der Höhenzüge (800–900 mm).

Die Höhenzüge werden durch die Festgesteine des Erdmittelalters geprägt. In Bezug auf die Bodenentwicklung ist die Untergliederung der Höhenzüge in die Kalk-, Sand-, Schluff- und Tonsteinverbreitungsgebiete von Bedeutung. Auf den Festgesteinen haben sich Fließerden und Hangschutte gebildet, welche die Festgesteine mit Ausnahme der exponierten Scheitelsbereiche fast lückenlos überziehen. In erosionsgeschützten Positionen erhielten sich Lössablagerungen (Mittellagen). An der Oberfläche findet sich eine aus dem örtlichen Material und Löss bestehende Schicht (Hauptlage), die der letzten Auftauzone entspricht. Bis heute anhaltend werden an den sehr steilen Hängen durch die Anreicherung von herab fallenden, rutschenden oder rollenden Gesteinen Hangschutte gebildet.

In Abhängigkeit von den Decklagen und den unterlagernden Gesteinen finden sich spezifische Bodenentwicklungen und -gesellschaften. Aus den lössreichen Mittellagen sind generell Parabraunerden oder Pseudogley-Parabraunerden entstanden. Über dichten Basislagen und in den feuchten Höhenlagen entwickelten sich auch Pseudo- oder Stagnogleye. In den Hochlagen des Sollings entstanden bei starker Vernässung durch Niederschläge Hochmoore. In den Sandsteingebieten finden sich örtlich lössfreie Auftauzonen, in denen dann reine Podsole entwickelt sind. In den Tonsteingebieten treten aufgrund der nur geringmächtigen Hauptlage häufig Übergänge zu Pelosolen und Pseudogleyen auf. Nur in den exponierten Gebieten ohne Decklagen sind die Festgesteine direkt Ausgangsgestein der Bodenbildung. Zu nennen sind hier die Hochflächen und Steilhänge im Kalkstein mit Rendzinen und die Kammlagen der Sandsteingebiete mit Rankern. Pelosole aus Ton sind in der Regel nur auf Erosionsstandorten zu finden.

In den Becken sind bis zu mehrere Meter mächtige Löss das Ausgangsgestein der Böden. Sie wurden in der Eiszeit durch Wind abgelagert und durch Niederschläge in den Ebenheiten der Becken zusammengespült. Daraus sind dominant Parabraunerden (L) entstanden. Im Leinegraben und im Eichsfeld ging der Parabraunerdeentwicklung ein Schwarzerdestadium voraus, sodass hier Schwarzerde-Parabraunerden vorliegen. Bei Stauwassereinfluss sind die Parabraunerden pseudovergleyt (S-L) oder als Pseudogleye entwickelt. Bei Stau- oder Grundwassereinfluss sind z. T. Schwarzerden erhalten geblieben. Die Böden der Lössbecken werden seit langem ackerbaulich genutzt. Sie sind in Hanglagen deshalb stets erodiert. Das abgetragene Material bedeckt als Kolluvien die Unterhänge und kleine Täler.

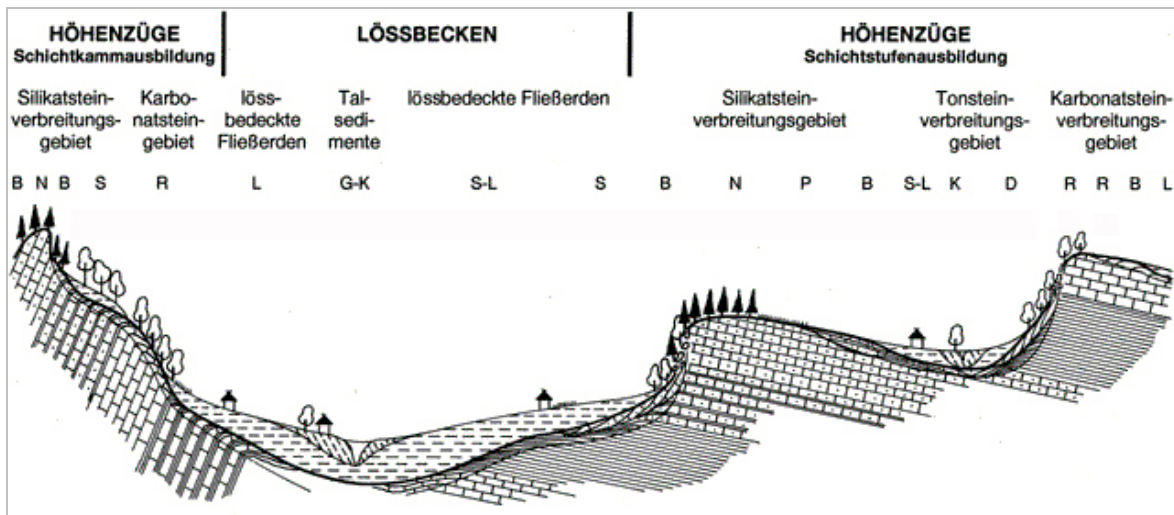


Abb. 38: Schnitt K – Idealisierter Schnitt durch die Bodenregion des Berglandes mit Angaben zum Ausgangssubstrat (Entwurf: E. Gehrt).

Bodenregion des Mittelgebirges (Harz)

Mit der Bodenregion des Mittelgebirges wird in Niedersachsen der Westharz zusammengefasst. Er hebt sich aufgrund der Höhenlage, dem damit verbundenen submontanen bis montanen Klima und den silikatischen Gesteinen des Erdaltertums (Paläozoikum) vom Bergland ab. Der Harz gliedert sich nach dem Klima und den Oberflächenformen in die Bodengroßlandschaften des Oberharzes und des Hochharzes. In Abbildung 39 (Schnitt L) sind die überwiegenden Situationen der Bodenbildung des Harzes schematisch dargestellt.

Mit dem Oberharz werden die randlichen Steilhänge (untere Grenze etwa bei 250 m ü. NN), die tief in den Harz einschneidenden Kerbtäler und die Hochflächen zwischen 500 und 600 m ü. NN zusammengefasst. Die unteren Stockwerke sind im Vergleich zu den Hochflächen im Allgemeinen wärmer und niederschlagsärmer.

Im Oberharz dominieren die basenarmen Silikatgesteine der Tonschiefer und Grauwacken und kleinräumig auch Sandsteine, Quarzite oder Kieselschiefer. Nur an wenigen Stellen sind darin basenreichere Silikatgesteine wie Diabas oder Kalksteine eingeschaltet. Auf den Festgesteinen finden sich heute verbreitet Fließerden, die im oberen Bereich lösshaltig sind. Wie im Bergland werden diese als Haupt-

lagen bezeichnet. Stark lösshaltige Mittellagen finden sich nur in den geringer geneigten Reliefpositionen der Hochflächen. Die Talhänge weisen im Allgemeinen eine Zweigliederung in einen steilen oberen und extrem steilen unteren Hangabschnitt auf. Insbesondere in den unteren Steilhängen dominieren Hangschutte. Die ebenen Talböden bestehen aus kiesigen und sandigen Sedimenten.

Die überwiegenden Bodenbildungen sind Braunerden. Häufig ist eine deutliche Versauerung und Podsolierung dieser Böden feststellbar. Bodentypologisch ist zwischen den basenarmen (z. B. aus Tonschiefer, Sandstein, Grauwacke, Quarzit, Granit) und den basenreicheren (z. B. aus Diabas) Braunerden kein Unterschied feststellbar. Die Nährstoffnachlieferung ist auf den basenreicheren Gesteinen etwas besser. Auf den Hochflächen, in Mulden, Hangmulden und Hangverflachungen findet sich z. T. eine Stauvernässung, die zur Ausbildung von Pseudogleyen geführt hat. Auf den ebenen Talböden treten Gleye als dominante Böden in Erscheinung.

Der Hochharz setzt über 600 m ü. NN. an. Mit Niederschlägen bis 1 500 mm, einer Jahresdurchschnittstemperatur von 7 °C und langen, schneereichen Wintern sind deutlich montane Klimaeinflüsse zu erkennen. Aufgrund der hohen Niederschläge haben die feinkörperreichen Lockergesteine langfristig eine hohe Was-

sersättigung. Hierdurch kann bis heute anhaltend ein Bodenfließen (Fließerde) beobachtet werden. Die Fließerden bedecken auch hier mit Ausnahme exponierter Positionen die Festgesteine.

Wie im Oberharz dominieren die Braunerden. Durch die ungünstigen Klimabedingungen sind z. T. mächtige Humusauflagen (Tangel) entstanden Als Folge des feuchtkalten Klimas, der armen Gesteine und der hohen Säureimmissionen sind die Böden stark versauert. Die Folge ist eine regelmäßig anzutreffende Podsolierung. In großem Umfang bildeten sich daneben auf den geringer geneigten Flächen Hochmoore. Klimaungunst, Nährstoffarmut und Bodenversauerung beeinträchtigen das Waldwachstum. Die verbreitet vorhandenen abgestorbenen Wälder zeigen, wie empfindlich diese Ökosysteme auf den Säureeintrag durch die Atmosphäre reagieren.

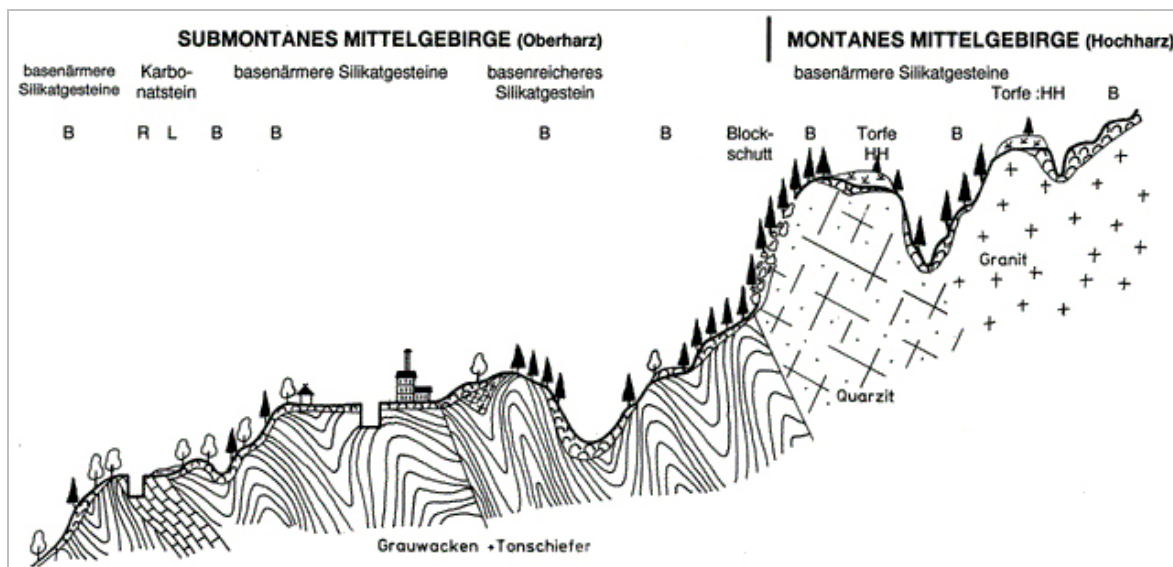


Abb. 39: Schnitt L – Idealisierter Schnitt durch die Bodenregion des Mittelgebirges (Harz) mit Angaben zum Gestein (Entwurf: H. Sponagel).

Tab. 10: Zuordnung der Bodengroßlandschaften zu Bodenregionen mit Angabe der Flächenanteile in Niedersachsen und Bremen (GEHRT & SBRESNY 1999).

Bodengroßlandschaften		Bodenregionen					
		Küsten- holozän	über- regionale Flussland- schaften	Geest	Berg- vorland	Bergland	Mittel- gebirge (Harz)
mit Angabe der Flächenanteile in Niedersachsen [%]		9	3	65	7	14	2
Nordseeinseln	< 1	3					
Watten	nb	nb			Flächenanteile [%] der Bodengroßland- schaften in den Bodenregionen		
Festlandküste	9	97					
Auen und Niederterrassen	3		100				
Talsandniederungen und Urstromtäler	24			37			
Geestplatten und Endmoränen	41			63			
Bördenvorland	2				33		
Lössbörden	5				67		
Lössbecken	5					35	
Höhenzüge	9					65	
Submontanes Mittelgebirge (Oberharz)	2						85
Montanes Mittelgebir- ge (Hochharz)	< 1						15

nb = nicht bekannt

10.3 Glossar

Die hier verwendeten Begriffe sind so definiert, wie im Leitfaden verwendet.

Benennung	Zeichen	Einheit	Definition
Absenkungsbereich/ Absenkungsgebiet			Gebiet, in dem eine Absenkung der Grundwasserdruckfläche als Folge einer technischen Maßnahme bestimmbar ist.
aktuelle Bodenfeuchte	–	pF	Geschätzter oder gemessener Feuchtezustand des Bodens.
aktuelle oder reale Evapotranspiration	ET _a	mm/d	Gesamtverdunstung, Summe aus Evaporation, Interzeptionsverdunstung und Transpiration.
Betriebsspiegel bei beantragter Entnahmemenge			s. Prognosezustand.
Beweis- und Vergleichsflächen			Eine Möglichkeit zur Erfassung und Abschätzung der Auswirkungen der Grundwasserabsenkungen in der Landwirtschaft läuft über Beweis- und Vergleichsflächen innerhalb und außerhalb des Absenkungsgebietes. In der Forstwirtschaft werden die o. g. Flächen Weiserflächenpaare genannt. Bei der Auswahl von Beweis- und Vergleichsflächen/Weiserflächenpaare müssen gleiche Bodenverhältnisse (Bodenart, kap. Aufstiegshöhe, nutzbare Feldkapazität, gleiche Bodennutzung, Bewirtschaftung, Fruchtfolge, Düngung, Baumart und Baumalter) jedoch mit unterschiedlichen Grundwasserständen angestrebt werden.
Beweisflächen			Beweisflächen sind Flächen innerhalb des Grundwasserabsenkungsgebietes. Die Bodennutzung sowie der Bodenwasserhaushalt sind repräsentativ im Gebiet. Die Grundwasserflurabstände auf den Beweisflächen sind entnahmebedingt abgesenkt (der „nachher“-Flächenzustand, s. Abb. 4). Die Beweisflächenauswahl sollte in engeren Absenkungsbereich vorgenommen werden.
Bodenwasser	–	–	Der im Boden befindliche Teil des unterirdischen Wassers.
Bodenwasserhaushalt	–	–	Zeitliche Veränderung des Wassergehaltes im Boden, bedingt durch Aufnahme, Speicherung und Abgabe von Wasser.
Durchlässigkeitsbeiwert, hydraulische Leitfähigkeit für Grundwasser	k _f	m/s	Quotient aus Filtergeschwindigkeit und zugehörigem Standrohrspiegelgefälle. Der Durchlässigkeitsbeiwert als Maß für die Durchlässigkeit hängt ab von - physikalischen Eigenschaften des Wassers (z. B. den temperaturabhängigen Größen Viskosität und Dichte), - Eigenschaften des Grundwasserleiters (Poren, Trennfugen). Bei der Durchlässigkeit wird unterschieden zwischen Porendurchlässigkeit und Trennfugendurchlässigkeit. Beide zusammen bilden die in der Regel anisotrope Gebirgsdurchlässigkeit.
Effektive Durchwurzelungstiefe, Mächtigkeit des effektiven Wurzelraumes	We	dm, cm	Rechnerisch ermittelte Tiefe der Bodenzone, die für die Berechnung der nFKWe verwendet wird. Grundlage für die Festlegung We ist der Wasserentzug durch die Pflanzenwurzeln einjähriger landwirtschaftlicher Nutzpflanzen in Trockenjahren bei grundwasserunbeeinflussten Böden.

Glossar (Fortsetzung).

Benennung	Zeichen	Einheit	Definition
Einzugsgebiet einer Grundwasserentnahmestelle (auch: unterirdisches Einzugsgebiet oder Grundwassereinzugsgebiet)			Gebiet, aus dem Grundwasser der Entnahmestelle zufließt. Die Begrenzung ist durch geologische, hydrogeologische und anthropogene (z. B. Entnahmen) Einflussgrößen gegeben. In der Regel sind die Begrenzungen zeitlich veränderlich.
Evaporation	E	mm/d	Verdunstung von der Bodenoberfläche oder von freien Wasserflächen.
Feldkapazität (Speicherfeuchte)	FK	Masse-%, Vol.-%, 1/m ³ , mm/dm	Wassermenge, die ein Boden maximal gegen die Schwerkraft zurückhalten kann; konventionell der Wassergehalt bei einer Saugspannung von pF 1.8.
geologisches 3D-Modell			Konstruktion und Darstellung der geologischen Verhältnisse in dreidimensionaler Form mit Integration aller Untergrundinformationen. Daraus resultieren geologische Untergrundmodelle u. a. mit in sich schlüssigen widerspruchsfreien räumlichen Darstellungen der unterschiedlichen Gesteinskörper eines Gebietes in ihrer räumlichen Ausdehnung und Lage zueinander.
Geschlossener Kapillarraum	–	cm	Raum über der Grundwasseroberfläche, in dem alle kapillaren Poren mit Wasser gefüllt sind (deutlicher Wasseraustritt aus dem Bohrgut bereits bei schwachem Klopfen am Bohrer), so dass Luftmangel und reduzierende Bedingungen herrschen.
Gespanntes Grundwasser	–	–	Grundwasser unter einer Grundwasserdeckschicht, das an deren Unterfläche einen höheren hydrostatischen Druck aufweist, als dem atmosphärischen Druck in dieser Tiefe entspricht.
Grenzflurabstand	GFAb	cm, dm, m	Tiefenlage der Grundwasseroberfläche, bis zu der noch eine für das Pflanzenwachstum wirksame Wassermenge aus dem Grundwasser kapillar in den effektiven Wurzelraum aufsteigt.
Grundwasser	–	–	Ständig vorhandenes unterirdisches Wasser, das Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt, allein der Schwerkraft unterworfen ist und sich durch Gefälle bzw. unterschiedliche Druckpotenziale bewegen kann.
Grundwasserdeckschicht	–	–	Gesteinsschicht, z. B. Tonschicht, die einen Wasserleiter flächenhaft überlagert und eine wesentlich geringere Durchlässigkeit als dieser aufweist.
Grundwasserdruckspiegel	–	–	Grundwasserspiegel bei gespanntem Grundwasser nach Druckausgleich.
Grundwasserflurabstand		m	Lotrechter Abstand zwischen einem Punkt der Erdoberfläche und der Grundwasseroberfläche des ersten Grundwasserstockwerks.
Grundwasserhöchststand	HHGW	cm, dm, m	Extremer Grundwasserhochstand, der den mittleren Grundwasserhochstand übersteigt und meist nur kurzfristig auftritt. - Hydrogeologie: Wert über oder unter einer waagerechten Bezugsebene, - Bodenkunde: Wert bezogen auf Geländeoberfläche.
Grundwasseroberfläche	zg	–	Obere Grenzfläche des Grundwassers.
Grundwasserspiegel	–	–	Grundwasseroberfläche in Brunnen, Rohren und Bohrlöchern nach Druckausgleich gegen die Atmosphäre.

Glossar (Fortsetzung).

Benennung	Zeichen	Einheit	Definition
Grundwasserströmungsmodell			<p>Numerisches Modell zur quantitativen Interpretation der Grundwasserströmung.</p> <p>Einsatzmöglichkeiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hydrogeologische Erkundung, - Interpretation von beobachteten Grundwasserstandshöhen, - Prognose von Grundwasserabsenkungen, - Bestimmung von Grundwasserbilanzen, - Ermittlung von Einzugsgebieten und Schutzzonen und - Grundlage für Betrachtung des Stofftransports.
Grundwasserstand	GW	cm, dm, m	<p>Tiefenlage des Grundwasserspiegels, bezogen z. B. auf die Geländeoberfläche.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hydrogeologie: Wert über oder unter einer waagerechten Bezugsebene, - Bodenkunde: Wert bezogen auf Geländeoberfläche.
Grundwasserstufe	GWS	–	<p>Aus standortkundlichen Kriterien abgeleitete und durch mittlere Grundwasserhoch-, -mittel- und -tiefstände definierte graduelle Abstufung des Grundwasserstandes im Boden.</p>
Grundwassertiefststand	NNGW	cm, dm, m	<p>Extremer Grundwassertiefststand, der den mittleren Grundwassertiefststand unterschreitet und meist nur kurzfristig auftritt.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hydrogeologie: Wert über oder unter einer waagerechten Bezugsebene, - Bodenkunde: Wert bezogen auf Geländeoberfläche.
hydrogeologisches Konzeptmodell			<p>Das hydrogeologische Modell ist die konzeptionelle Visualisierung der hydrogeologischen Verhältnisse. Es enthält abstrahierte Darstellungen zur geologischen Struktur des Untergrundes und seiner hydraulischen Eigenschaften sowie zur chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und der durchflossenen Gesteine. Das hydrogeologische Modell ist eine Idealisierung und Vereinfachung der realen Bedingungen. Es ist die Vorstufe der Diskretisierung des numerischen Modells und muss daher alle wesentlichen Informationen enthalten.</p> <p>Zunehmend finden geologische 3D-Modelle Verwendung bei der Erstellung von hydrogeologischen Modellen.</p>
hydromorphe Merkmale	–	–	<p>Durch Vernässung hervorgerufene Profilmerekmale, wie z. B. Anreicherung von organischer Substanz (im Extrem Torfbildung), Nassbleichung, Rostfleckung.</p>
Interzeptionsverdunstung	–	–	<p>Verdunstung von Niederschlagswasser, das an der Pflanzenoberfläche zurückgehalten wurde.</p>
Istzustand			<p>Der Istzustand beschreibt den Grundwasserstand bei der wirksamen tatsächlichen Grundwasserentnahme (bestimmt z. B. als arithmetisches Mittel der tatsächlichen Entnahmemengen in den letzten zehn Jahren).</p>
Kapillare Aufstiegshöhe	KA	cm, dm, m	<p>Kapillare Steighöhe der Grundwasseroberfläche.</p>
Kapillare Aufstiegsrate	KR	mm/d	<p>Wassermenge, die in der Zeiteinheit durch kapillare Nachlieferung aus dem Grundwasser bei vorgegebener Saugspannung auf eine gewählte Höhe aufsteigt.</p>
Klimatische Wasserbilanz	KWB	mm	<p>Niederschlag minus Verdunstung nach HAUDE oder FAO.</p>
Maximale Wasserkapazität	–	Masse-%, Vol.-%, 1/m ³ , mm/dm	<p>Wassermenge, die ein Boden maximal (bei voller Wassersättigung) aufnehmen kann.</p>

Glossar (Fortsetzung).

Benennung	Zeichen	Einheit	Definition
mittlerer Grundwasserhochstand	MHGW	cm, dm, m	Grundwasserhochstand im langjährigen Mittel (meist Ausgang Winter). - Hydrogeologie: Wert über oder unter einer waagerechten Bezugsebene, - Bodenkunde: Wert bezogen auf Geländeoberfläche.
mittlerer Grundwasserstand	MGW	cm, dm, m	Mittel aller Grundwassermessdaten aus mehreren Jahren bei laufenden Messreihen, auch Bezeichnung für einen häufig auftretenden Grundwasserstand zwischen dem mittleren Grundwasserhochstand und dem mittleren Grundwassertiefstand. - Hydrogeologie: Wert über oder unter einer waagerechten Bezugsebene, - Bodenkunde: Wert bezogen auf Geländeoberfläche.
Mittlerer Grundwassertiefstand	MNGW	cm, dm, m	Grundwassertiefstand im langjährigen Mittel (meist Juli–Oktober). - Hydrogeologie: Wert über oder unter einer waagerechten Bezugsebene, - Bodenkunde: Wert bezogen auf Geländeoberfläche.
Nullzustand			Unter dem Nullzustand ist zu verstehen: - im Falle einer Erstentnahme von Grundwasser der Grundwasserstand vor Beginn der Entnahme, - im Falle einer unveränderten Fortsetzung, Erhöhung oder Erniedrigung einer bestehenden Grundwasserentnahme der Grundwasserstand, der sich einstellen würde, wenn die Grundwasserentnahme eingestellt würde. Der Nullzustand beschreibt daher grundsätzlich den Grundwasserstand ohne die beantragte Grundwasserentnahme. Im Rahmen der Antragstellung sind die Auswirkungen, die durch die Entnahme entstehen, gegenüber einem Zustand ohne Entnahme darzustellen. Bei Folgeanträgen für bestehende Entnahmen kann der Förderbetrieb in der Regel nicht so lange eingestellt werden, dass sich ein Wasserstand, der dem Nullzustand entspricht, einstellt. Häufig sind hier jedoch auch keine ausreichenden historischen Daten zu den Grundwasserständen vor Beginn der Förderung vorhanden. In solchen Fällen kann der Nullzustand auch über Modellrechnungen ermittelt werden.
Numerisches Modell			Beschreibung des Zustands und der Dynamik eines Systems in Form mathematischer Gleichungen. Die Faktoren der Gleichung sind durch die äußeren Bedingungen bestimmt. Grundlage eines numerischen Modells ist die Diskretisierung des zu untersuchenden Raumes in einzelne numerisch behandelbare Zellen. Die Komplexität der Gleichungen numerischer Modelle erfordert die Lösung mittels numerischer, meist EDV-basierter Verfahren, wie z. B. mit der Finite-Differenzen- und Finite-Elemente-Methode.
Nutzbare Feldkapazität	nFK	Masse-%, Vol.-%, 1/m ³ , mm/dm	Feldkapazität abzüglich Totwasseranteil; konventionell der Wassergehalt zwischen pF 1.8 und 4.2.
nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (Regenkapazität)	nFKWe	mm	Nutzbare Feldkapazität, bezogen auf die effektive Durchwurzelungstiefe.

Glossar (Fortsetzung).

Benennung	Zeichen	Einheit	Definition
offener Kapillarraum	–	cm	Raum über dem geschlossenen Kapillarraum, in dem nur ein Teil der kapillaren Poren mit Wasser gefüllt ist (Wasseraustritt aus dem Bohrgut erst bei stärkerem Klopfen am Bohrer).
ökologischer Feuchtegrad			Der durch Pflanzengesellschaften charakterisierte langjährige mittlere Feuchtezustand eines Bodens.
permanenter Welkepunkt	PWP	lg hPa, lg mbar	Grenzwert, bei dessen Erreichen landwirtschaftliche Nutzpflanzen in der Regel irreversibel zu welken beginnen; konventionell eine Saugspannung von pF 4.2.
pflanzenverfügbares Bodenwasser	Wpfl	mm	Gesamtes Dargebot an pflanzenverfügbarem Wasser im Boden, ermittelt aus nFKWe und kapillarem Aufstieg aus dem Grundwasser.
pF-Wert	pF	lg hPa, lg mbar	Maß für die Saugspannung des Wassers (z. B. im Boden).
potenzielle Evapotranspiration	ETP	mm/d	Mögliche Evapotranspiration, die unter Standardbedingungen eintreten würde (konventionell ermittelt nach DIN 19685).
Prognosezustand			Der Prognosezustand beschreibt den erwarteten Grundwasserstand bei der beantragten Grundwasserentnahmemenge.
Ruhespiegel			s. Nullzustand.
Ruhezustand			s. Nullzustand.
Saugspannung, Wasserspannung, Wasserbindung	–	hPa, mbar, bar	Spannung, mit der Wasser (z. B. im Boden) gebunden ist.
Sollzustand			s. Prognosezustand.
standortkundliche Feuchtestufe	–	–	Aus Nässezahl und Sommerfeuchtezahl gebildete graduelle Abstufung der langjährigen mittleren Bodenfeuchte.
Stauwasser	–	–	Zeitweilig auftretendes bewegliches Bodenwasser über einer hoch anstehenden Stauwassersohle (meist oberhalb 13 dm u. GOF).
Totwasser	–	Masse- %, Vol.- %, 1/m ³ , mm/dm	Wasser, das mit höherer Spannung gehalten wird, als die Wurzeln landwirtschaftlicher Nutzpflanzen in der Regel entwickeln können; konventionell mit einer Saugspannung von pF > 4.2.
Transpiration	–	–	Verdunstung aus den Pflanzen.
unterirdisches Wasser	–	–	Wasser unterhalb der Erdoberfläche.
Vergleichsflächen/ Nullflächen			Flächen mit möglichst gleichem Inventar wie die Beweisflächen. Sie liegen jedoch außerhalb des Absenkungsgebietes. Die Grundwasserflurabstände auf den Vergleichsflächen entsprechen den ehemaligen Flurabständen ohne GW-Entnahme (der „vorher“-Flächenzustand, s. Abb. 4).
Vernässungsgrad	–	–	Aus standortkundlichen Kriterien abgeleitete graduelle Abstufung der Vernässung durch Stau-, Haft- oder Grundwasser.
Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (Durchlässigkeitsbeiwert, Wasserleitfähigkeit)	Kf	cm/d, m/d, cm/s	Durchflussmenge je Flächeneinheit und Zeiteinheit (Filtergeschwindigkeit) im wassergesättigten Boden, geteilt durch das Wasserspiegelgefälle.

Glossar (Fortsetzung).

Benennung	Zeichen	Einheit	Definition
Wassergehalt des Bodens	wg', wv'	Masse- %, Vol.- %, 1/m ³ , mm/dm	Wassermenge, die durch Trocknung einer Bodenprobe bei 105°C entweicht.
Weiserflächenpaare/ Weiserflächen			Repräsentative Flächenpaare auf den durch Grundwasserentnahme potenziell beeinflussten (innerhalb des Absenkungsgebietes) bzw. unbeeinflussten Standorten (außerhalb des Absenkungsgebietes), bei denen über einen Zeitraum von mindestens zehn Jahren das Waldwachstum/Bestandsentwicklung erfasst wird.

10.4 Abkürzungen

GLD	Gewässerkundlicher Landesdienst
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NMU	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
NNatG	Niedersächsisches Naturschutzgesetz
NUVPG	Niedersächsisches Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

Autoren

- Dr. Hans Eckl
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.2 „Wasser- und
Abfallwirtschaft, Altlasten“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
 - Dr. Farhad Raissi
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.3 „Landwirtschaft und
Bodenschutz, Landesplanung“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
 - Dr. Kurt-Heiner Krieger
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.2 „Wasser- und
Abfallwirtschaft, Altlasten“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
 - Dr. Johannes Müller
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.2 „Wasser- und
Abfallwirtschaft, Altlasten“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
 - Dr. Udo Müller
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.3 „Landwirtschaft und
Bodenschutz, Landesplanung“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
 - Andree Weustink
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.2 „Wasser- und
Abfallwirtschaft, Altlasten“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
- In die Erstellung des Leitfadens sind Beiträge und Erfahrungen aus den hydrogeologischen und bodenkundlichen Beratungsreferaten des LBEG eingeflossen. Hieran haben folgende Kolleginnen und Kollegen mitgewirkt:
- Katrin Damm
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.2 „Wasser- und
Abfallwirtschaft, Altlasten“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
 - Jochen Goens
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.2 „Wasser- und
Abfallwirtschaft, Altlasten“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
 - Dr. Michael Heinisch
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.2 „Wasser- und
Abfallwirtschaft, Altlasten“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.

ISSN 1864 – 7529