



# Geofakten 6

■ **Boden, Wasser**

## Auswirkungen von Grundwasserentnahmen auf landwirtschaftliche Bodennutzungen

– Hinweise zu bodenkundlichen Gutachten für Wasserrechtsanträge –

4. überarbeitete Auflage

Heumann, S. & Bug, J.

April 2020

Durch die Entnahme von Grundwasser kann es zur Vergrößerung des Grundwasserflurabstandes kommen. Dadurch kann der kapillare Aufstieg von Grundwasser in den Wurzelraum vermindert und somit das Pflanzenwachstum u. a. auf landwirtschaftlich genutzten Flächen beeinträchtigt werden. Ertragsverluste sind durch den Verursacher finanziell auszugleichen. Im bodenkundlichen Gutachten zum Wasserrechtsantrag sind Abschätzungen über die mögliche Höhe dieser Ertragsverluste, sogenannte Auswirkungsgrade, nachvollziehbar und flächenhaft darzulegen. In diesem Geofakt werden formale Hinweise zu Ermittlung und Darstellung adäquater Kennwerte gegeben.

Grundwasserentnahme, Grundwasserabsenkung, Bodennutzungen, Bodenwasserhaushalt, Ertragsverluste, Beweissicherung, Methoden, Auswirkungsgrad.

### 1. Einleitung

Die Entnahme von Grundwasser zur Gewinnung von Trink- und Brauchwasser setzt die Erteilung eines Wasserrechts voraus (WHG 2009). Durch die Förderung von Grundwasser kann der Grundwasserflurabstand vergrößert werden, wodurch das Pflanzenwachstum deutlich beeinträchtigt werden kann (vgl. RENGER 1986, MULL 1987, DVGW 2008, ECKL & RAISSI 2009, RENGER et al. 2020). Ertragsverluste u. a. von landwirtschaftlichen Nutzungen sind nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2009) durch den Verursacher finanziell auszugleichen. Kann im hydrogeologischen Gutachten zum Wasserrechtsantrag (s. ECKL & RAISSI 2009) nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Grundwasserentnahmen auch auf den Bodenwasserhaushalt auswirken, ist zusätzlich ein bodenkundliches Gutachten einzureichen.

Im bodenkundlichen Gutachten zum Wasserrechtsantrag ist die potenzielle Empfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Flächen gegenüber entnahmebedingten Grundwasserabsenkungen durch Abgrenzung und Charakterisierung von unterschiedlichen Bodeneinheiten abzuschätzen (Abb. 1, Kasten 1). Das bodenkundliche Gutachten basiert im Kern auf einer Bodenkartierung und ist bei einem bodenkundlichen Fachbüro in Auftrag zu geben. Es wird empfohlen, aus Gründen der Transparenz möglicherweise betroffene Flächennutzer/-inhaber bereits vor dem Erörterungstermin zum Wasserrechtsverfahren über die Inhalte zu informieren.

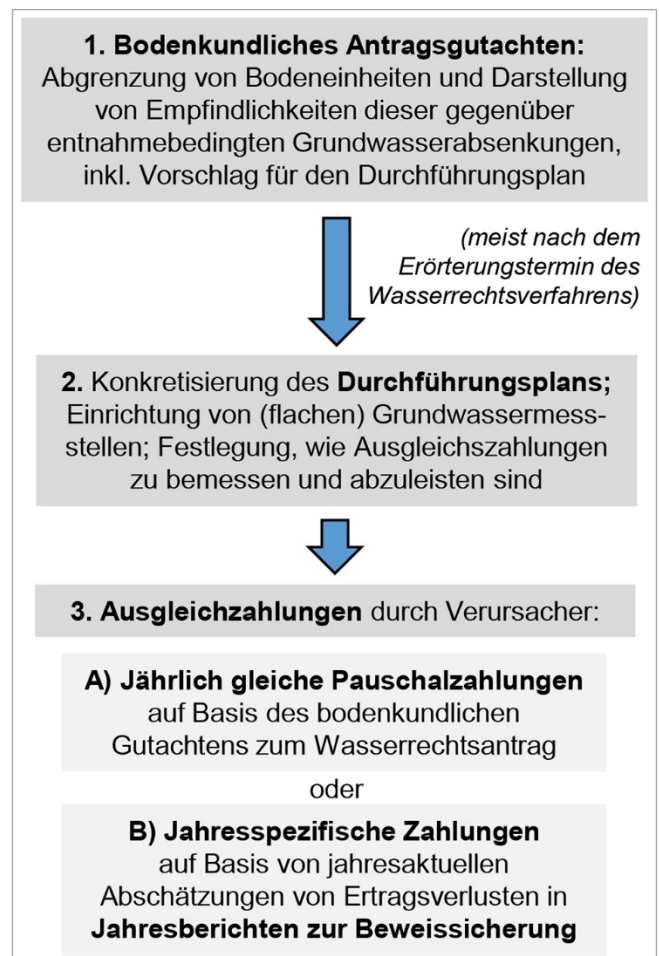


Abb. 1: Prinzip der landwirtschaftlichen Beweissicherung im Rahmen von Wasserrechtsverfahren.

Hauptziel des bodenkundlichen Gutachtens ist die Abgrenzung und Beschreibung von weitgehend homogenen Bodeneinheiten einschließlich Ableitung von Kennwerten des Bodenwasserhaushalts. Daraus werden potenzielle relative Ertragsverluste abgeschätzt. Außerdem enthält der Wasserrechtsantrag einen Entwurf für den Durchführungsplan zur Beweissicherung (Abb. 1, Kasten 1).

Meistens wird der Durchführungsplan nach dem Erörterungstermin zum Wasserrechtsantrag unter Berücksichtigung der eingegangenen Stellungnahmen konkretisiert (Abb. 1). Insgesamt soll die landwirtschaftliche Beweissicherung sicherstellen, dass durch die beantragte Grundwasserentnahme bedingte Ertragsverluste erfasst werden. Im Durchführungsplan werden die Details jährlicher Untersuchungen, Auswertungen und Zahlungen geregelt (Abb. 1, Kasten 2; vgl. RAISSI et al. 2009). Wird in der wasserrechtlichen Genehmigung eine kontinuierliche Auswertung in Jahresberichten festgelegt, so sind zur Ermittlung des finanziellen Ausgleichs die konkreten Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum im jeweiligen Jahr abzuschätzen (Abb. 1, Kasten 3B). Die Auswertungen basieren auf der Bodeneinheitentabelle des bodenkundlichen Gutachtens, erweitert um jahresspezifische Wasserstands- und Klimakennwerte (vgl. Tab. 1). Alternativ kann eine pauschale, jährlich gleichbleibende finanzielle Entschädigung vereinbart werden (Abb. 1, Kasten 3A). Prinzipielle Unterschiede zwischen dem bodenkundlichen Gutachten und ggf. zu erstellenden Jahresberichten verdeutlicht Tabelle 1.

Im vorliegenden Geofakt werden fachliche Hinweise zur Erstellung von bodenkundlichen Gutachten für Wasserrechtsanträge und notwendige Auswertungen und Darstellungen gebündelt. Zu Beginn werden Datengrundlagen aufgelistet, die im Gutachten verwendet werden können (Kap. 2). In Kapitel 3 werden die einzelnen Schritte zur Festlegung des bodenkundlichen Untersuchungsgebiets beschrieben. In Kapitel 4.1 wird erläutert, welche Bodendaten in der Bodenkarte sowie den dazugehörigen Bodeneinheitentabellen dargestellt werden müssen. Anschließend wird in Kapitel 4.2 die Anwendung der Methode „Auswirkungsgrad von Grundwasserabsenkungen auf den landwirtschaftlichen Ertrag“ (RENGER et al. 2020) speziell in bodenkundlichen Wasserrechtsgutachten und die Darstellung der Auswirkungsgrade bzw. der Absenkungsempfindlichkeiten landwirtschaftlich genutzter Bodeneinheiten beschrieben. In Kapitel 4.3 werden abschließend Hinweise zu den im Gutachten darzustellenden Karten und Tabellen gegeben.

Die hier aufgeführten Empfehlungen gelten für die Abschätzung der Absenkungsempfindlichkeit von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Kenngrößen und Methoden für forstlich genutzte Flächen werden in RAISSI, MÜLLER & MEESENBURG (2009) und HILLMANN et al. (2009a, 2009b) beschrieben. Bei dieser 4. Auflage der Geofakten 6 handelt es sich um eine grundlegende Überarbeitung der 3. Auflage (RAISSI & MÜLLER 2009). Diese Überarbeitung war u. a. wegen der vorangegangenen Neuarbeitung der Auswirkungsgradmethode (RENGER et al. 2020) notwendig geworden.

Tab. 1: Grundsätzliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Abschätzung der Auswirkungsgrade in bodenkundlichen Gutachten zum Wasserrechtsantrag und in Jahresberichten zur Beweissicherung (Details s. folgende Kapitel).

Schritt	bodenkundliches Gutachten	Jahresberichte
<b>Bestandsaufnahme</b>	Abgrenzung von Bodeneinheiten mit gleichem Bodentyp und weitgehend einheitlichen bodenhydrologischen Verhältnissen; Ziele: a) Bodenkarte und b) dazugehörige Bodeneinheitentabelle	Ergänzung der Bodeneinheitentabellen aus dem Gutachten für die betroffenen Bodeneinheiten um relevante Daten (Wetter, Wasserstand, Nutzung) aus dem jeweiligen Jahr
<b>Abschätzung der Betroffenheit</b>	potenzielle Beeinträchtigung für den Vergleich NULL vs. IST und NULL (und/oder IST) vs. PROGNOSE	konkrete relative Ertragsminderung bei jahresspezifischen entnahmebedingten Absenkungen
<b>klimatische Wasserbilanzen</b>	Normaljahre (50%-Perzentil eines 30jährigen Referenzzeitraums) und Trockenjahre (80%-Perzentil), differenziert nach möglichen Nutzungen (Acker, Grünland, ggf. Forst)	Daten aus dem jeweiligen Jahr, je nach Vegetationsperioden der aktuellen Nutzungen
<b>Darstellung</b>	potenziell von Absenkungen betroffene Bodeneinheiten, teilflächenscharf und nachvollziehbar mittels Bodeneinheitentabelle; Visualisierung unterschiedlicher Betroffenheitskategorien in Bodenkarten (Maßstab 1 : 5.000 bis 1 : 10.000)	konkrete Auswirkungsgrade, teilflächenscharf, nachvollziehbar mittels Bodeneinheitentabelle, monetarisiert anhand aktueller Ertrags- und Preisstatistiken; Darstellung tabellarisch, umgerechnet für Einzelschläge als Summe aus Teilflächen

## 2. Datengrundlagen und Dokumentation

Die verwendeten Datengrundlagen, Unterlagen, Methoden und die eigenen Untersuchungen sind im Gutachten nachvollziehbar zu dokumentieren:

- Zu Beginn der Untersuchungen sollten bereits vorliegende Daten und Karten aus Altgutachten z. B. zum Wasserrechtsantrag, analog oder digital vorliegende Bodenkarten (z. B. BK50, BK25, Bodenschätzungskarte) und ggf. ein digitales Geländemodell gesichtet und auf die Eignung bewertet werden. Eine weitere wichtige Grundlage zur räumlichen Abgrenzung der Untersuchungen ist das hydrogeologische Gutachten bzw. daraus ausgewählte Abbildungen (s. Kap. 3). Aus diesen Grundlagen kann vor Beginn der Feldkartierungen eine Konzeptbodenkarte erstellt werden (s. Kap. 4).
- Weiterhin aufzuführen sind:
  - Dokumentation der Methoden der Bodenkartierung, z. B. Kartierschlüssel mit Schlüssel listen (Auszüge z. B. aus Bodenkundlicher Kartieranleitung unter Angabe der Auflage),
  - verwendete Methodik zur Bewertung des Bodenwasserhaushaltes (ECKL & RAISSI 2009, DWA-A 920-1 2016 etc.),
  - weitere verwendete Geofakten/Geoberichte, ggf. zusätzliche Literatur oder Gutachten.

- Detaillierte Ergebnisse der eigenen Kartierungen (einschließlich Datum, Bohrgeräte(-technik)) sind digital als Bohrpunktkarte mit Aufnahmeformblatt für bodenkundliche Kartierungen/ Profilbeschreibungen im Anhang des Gutachtens anzufügen (s. Kap. 4.3).

## 3. Ermittlung des bodenkundlichen Untersuchungsgebiets

Prinzipiell ist das Auftreten entnahmebedingter Ertragsverluste auf landwirtschaftlichen Flächen an zwei Bedingungen geknüpft (Abb. 2, Details siehe RENGER et al. 2020):

- I. Zum einen muss der Standort im sog. ‚NULL-Zustand‘ einen ertragsrelevanten Anschluss an das Grundwasser haben, damit Grundwasser überhaupt kapillar in den Wurzelraum der Pflanzen aufsteigen kann (d. h.  $KA > 0$  mm, s. Abb. 2 links). Beim NULL-Zustand handelt es sich um die mittleren Grundwasserstände, bei der die bestehende Entwässerungssituation/Melioration und die maximal genehmigten Entnahmen Dritter berücksichtigt werden, jedoch nicht der Einfluss der beantragten Grundwasserentnahme (s. ECKL & RAISSI 2009).
- II. Die zweite Bedingung ist, dass die entnahmebedingten Absenkungen zu einer quantifizierbaren und relevanten Verringerung des kapillaren Aufstiegs aus dem Grundwasser führen.

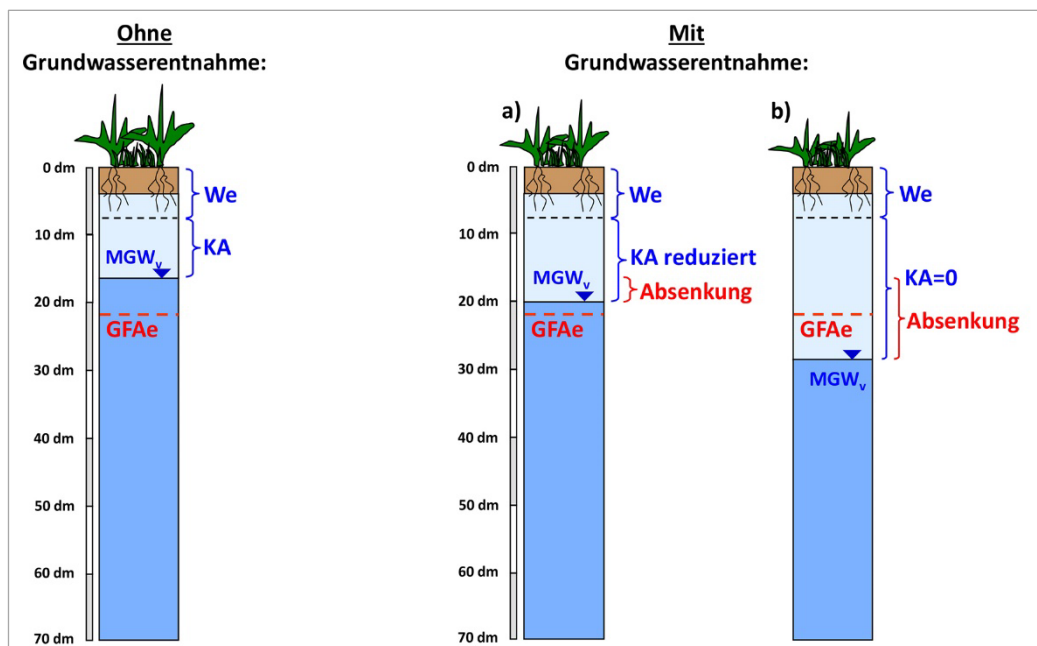


Abb. 2: Prinzip der Abschätzung der Absenkungsempfindlichkeit in Abhängigkeit von der effektiven Durchwurzelungstiefe ( $We$ ), vom ertragswirksamen Grenzflurabstand ( $GFAe$ ), vom kapillaren Aufstieg ( $KA$ ) sowie vom mittleren Grundwasserstand in der Vegetationsperiode (meist als  $MGW_v$ ) ohne/mit Grundwasserentnahme. Der untere, mittelblau markierte Bereich stellt den Grundwasserleiter dar (Entnahmestockwerk bzw. hydraulisch damit verbundenes Stockwerk). Abbildung aus RENGER et al. (2020).

Daher sind im bodenkundlichen Gutachten alle Flächen bzw. Teilschläge zu ermitteln, für die diese beiden Bedingungen gelten. Ob in einem konkreten Jahr auf den so charakterisierten Flächen tatsächlich Ertragsverluste auftreten, hängt zudem von der landwirtschaftlichen Nutzung (Kulturart) und der Witterung im betreffenden Jahr ab. Im Gutachten wird daher nur die potenzielle Beeinträchtigung für mittlere Normaljahre und für Trockenjahre ermittelt (vgl. Tab. 1).

Das bodenkundliche Untersuchungsgebiet wird in drei, nachfolgend erläuterten, Abschichtungsschritten abgegrenzt (Abb. 3). Für dieses Gebiet bzw. für die Teilgebiete sollten bodenkundliche Kartierungen (evtl. mit unterschiedlicher Intensität, s.

Kap. 3.2) durchgeführt und die Empfindlichkeiten gegenüber entnahmebedingten Absenkungen grafisch dargestellt werden. Die Abschichtungen zur Konkretisierung des Untersuchungsgebietes sind im Gutachten nachvollziehbar und mit konkreten Verweisen auf das hydrogeologische Gutachten (möglichst Abbildungen daraus) darzustellen. Je nach konkretem Fall können die Abschichtungen 2 und 3 auch in einer anderen Reihenfolge dargestellt werden. Dies sollte begründet werden.

Für den Fall, dass keine Auswirkungen der Grundwasserentnahme auf landwirtschaftliche Nutzungen (ggf. Forst) erwartet werden können, so ist dies im hydrogeologischen Gutachten nachvollziehbar zu begründen.

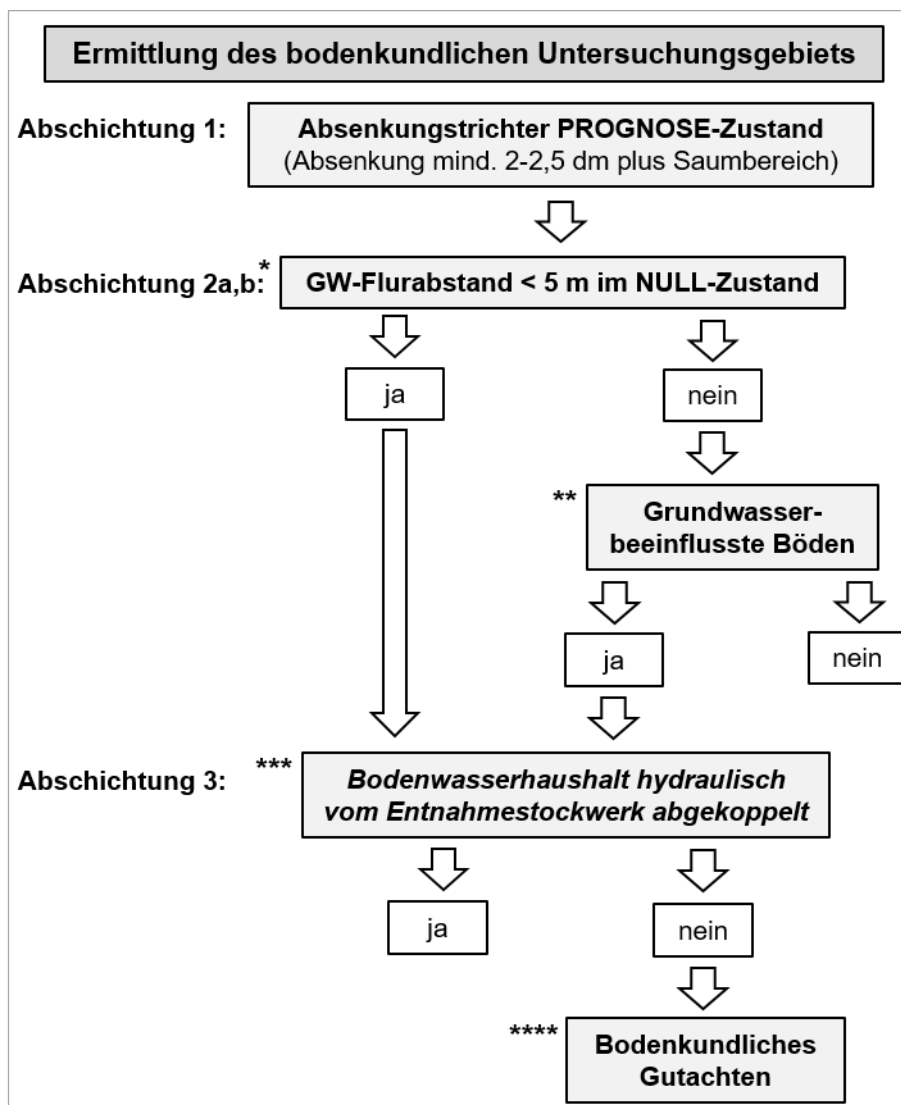


Abb. 3: Schrittweise Abschichtung zur Ermittlung des bodenkundlichen Untersuchungsgebietes für das WR-Gutachten.

- \* Daten aus hydrogeologischem Gutachten. Je nach Standort sind auch geringere GW-Flurabstände als 5 m unkritisch.
- \*\* Nach MEYER & HAUSCHILD (2016) werden dazu verschiedene Karten als Informationsgrundlagen herangezogen.
- \*\*\* Abschichtung nur möglich, wenn unbeeinflusste Bereiche mittels hydrogeologischem Gutachten nachweisbar.
- \*\*\*\* Zudem Ausschluss von Siedlungen und größeren Gewässerflächen.

### 3.1 Absenkungstrichter PROGNOSE-Zustand (Abschichtung 1)

Die erste Grundlage für die Festlegung des bodenkundlichen Untersuchungsgebiets ist der im hydrogeologischen Gutachten zum Wasserrechtsantrag für den PROGNOSE-Zustand ermittelte Absenkungstrichter gegenüber dem NULL-Zustand (Abb. 3, oben). Beim PROGNOSE-Zustand handelt es sich um den Systemzustand, der sich bei der maximal beantragten Entnahmemenge einstellen würde (s. ECKL & RAISSI 2009). Der NULL-Zustand ist der Systemzustand, der sich einstellen würde, wenn die beantragte Grundwassermenge nicht entnommen wird. Für beide Systemzustände lässt sich mit hydrogeologischen Methoden (i. d. R. ein numerisches Grundwasserströmungsmodell oder ggf. über Grundwassergleichenpläne) die räumliche Verbreitung der Grundwasserstände ermitteln. Aus der Differenz dieser beiden Werte ergibt sich die räumliche Verbreitung der Absenkung. Es ist der Grundwasserabsenkungsbereich maßgebend, der sich, ausgehend von den Entnahmekäufen bis zur 2-Dezimeter-Absenkungsisolinie (max. 2,5 dm), erstreckt. Im Rahmen der hydrogeologischen Begutachtung lassen sich mittels hydrogeologischer Methoden Absenkbeiträge meist nur mit einer Aussagegenauigkeit von 2–3 dm ermitteln.

Oft erfolgt die Entnahme nicht direkt aus dem oberflächennahen Grundwasserleiter. In diesem Fall sollten hier zunächst im Sinne eines ‚worst-case‘-Ansatzes die für das Entnahmestockwerk ermittelten Absenkungsbeträge verwendet werden. Die spätere Abschichtung 3 (s. Kap. 3.3) kann auch zusammen mit dem ersten Schritt, Abschichtung 1, erfolgen (d. h. Ermittlung eines oberflächennahen Absenkungsgebiets), dann müsste aber in den meisten Fällen für Abschichtung 3 ein deutlich größeres Gebiet berücksichtigt werden.

Das so abgegrenzte Absenkungsgebiet wird außen um einen Saumbereich erweitert (Beispiel s. Abb. 4, oben). Empfohlene Saumbreiten sind 100 bis 300 m, wobei die Aussageschärfe der Prognose und z. B. die Größe des Absenkungstrichters im jeweiligen Gebiet zu berücksichtigen sind.

### 3.2 Betrachtung von Bereichen mit GW-Anschluss im NULL-Zustand sowie GW-beeinflusste Böden (Abschichtung 2a, b)

Zum einen werden innerhalb des in Abschichtung 1 ermittelten Gebiets alle (Teil-)Flächen ausgewählt, die im NULL-Zustand während der Vegetationszeit Anschluss an das Grundwasser haben könnten.

Landwirtschaftliche Nutzungen auf diesen (Teil-)Flächen können von einer Grundwasserabsenkung durch die betrachtete Entnahme ggf. beeinträchtigt werden (vgl. Abb. 2), was durch bodenkundliche Untersuchungen weiter zu quantifizieren ist.

Das Entscheidungskriterium, ob auf einer Fläche ein ertragsrelevanter Anschluss an das Grundwasser im NULL-Zustand vorliegen würde, ist der sogenannte ertragswirksame Grenzflurabstand (GFAe). Dieser Kennwert beschreibt die potenzielle Tiefenlage des Grundwassers, bis zu der noch eine für den Pflanzenertrag relevante Menge Wasser kapillar in den effektiven Wurzelraum aufsteigen kann. Dabei wird angenommen, dass eine  $k_r < 0,3$  mm/d in der Vegetationsperiode nicht ertragsrelevant ist. Der GFAe wird ermittelt aus der Tiefe des effektiven Wurzelraums ( $W_e$ ), zuzüglich der auf Basis der Bodenart abgeschätzten kapillaren Aufstiegshöhe des Grundwassers  $k_{h_{ertrag}}$  (BUG et al. 2020: Verknüpfungsregel 6.5.5). Ist der Grundwasserstand im NULL-Zustand näher an der Oberfläche als der GFAe, dann ist davon auszugehen, dass die Fläche einen ertragsrelevanten Anschluss an das Grundwasser aufweist (vgl. Abb. 2).

Der Grundwasserflurabstand des NULL-Zustands wird hierfür ebenfalls dem hydrogeologischen Gutachten entnommen. In den Abbildungen 3 und 4 ist zu sehen, dass oft ein Grundwasserflurabstand  $>5$  m für Abschichtung 2a verwendet wird. Denn selbst der Grenzflurabstand von forstlichen Nutzungen, die eine relativ große  $W_e$  aufweisen (RAISSI, MÜLLER & MEESENBURG 2009), ist deutlich kleiner als 5 m (GFA aus BUG et al. 2020: Verknüpfungsregel 6.5.5). Insbesondere in Gebieten ohne forstliche Nutzungen und bei Böden mit sehr hohen Sandanteilen und daher relativ geringer  $W_e$  können sogar Abstände z. B.  $>3$  m oder sogar  $>2,5$  m plausibel sein. Jedoch ist die Verwendung einer anderen Abgrenzung als  $>5$  m im Gutachten anhand konkreter Standortdaten zu begründen. Dazu kann für Absenkungsgebiete mit weitgehend homogener Bodenartverteilung (erste Vorabschätzung z. B. anhand von Karten im NIBIS® KARTENSERVEN) im Sinne eines ‚worst-case‘-Ansatzes der theoretisch größtmögliche Grenzflurabstand (plus ein Sicherheitsaufschlag von etwa 5 dm) ermittelt werden. Generell sind Vorabschätzungen anhand von Bodenkarten aus früheren Wasserrechtsverfahren und Bodenkarten wie der BK50 oder der BK25 zu empfehlen. Bereiche mit Grundwasserflurabständen von z. B.  $<5$  m, die innerhalb des Absenkungsgebiets aus Kapitel 3.1 liegen, werden also einbezogen (s. Abb. 4).



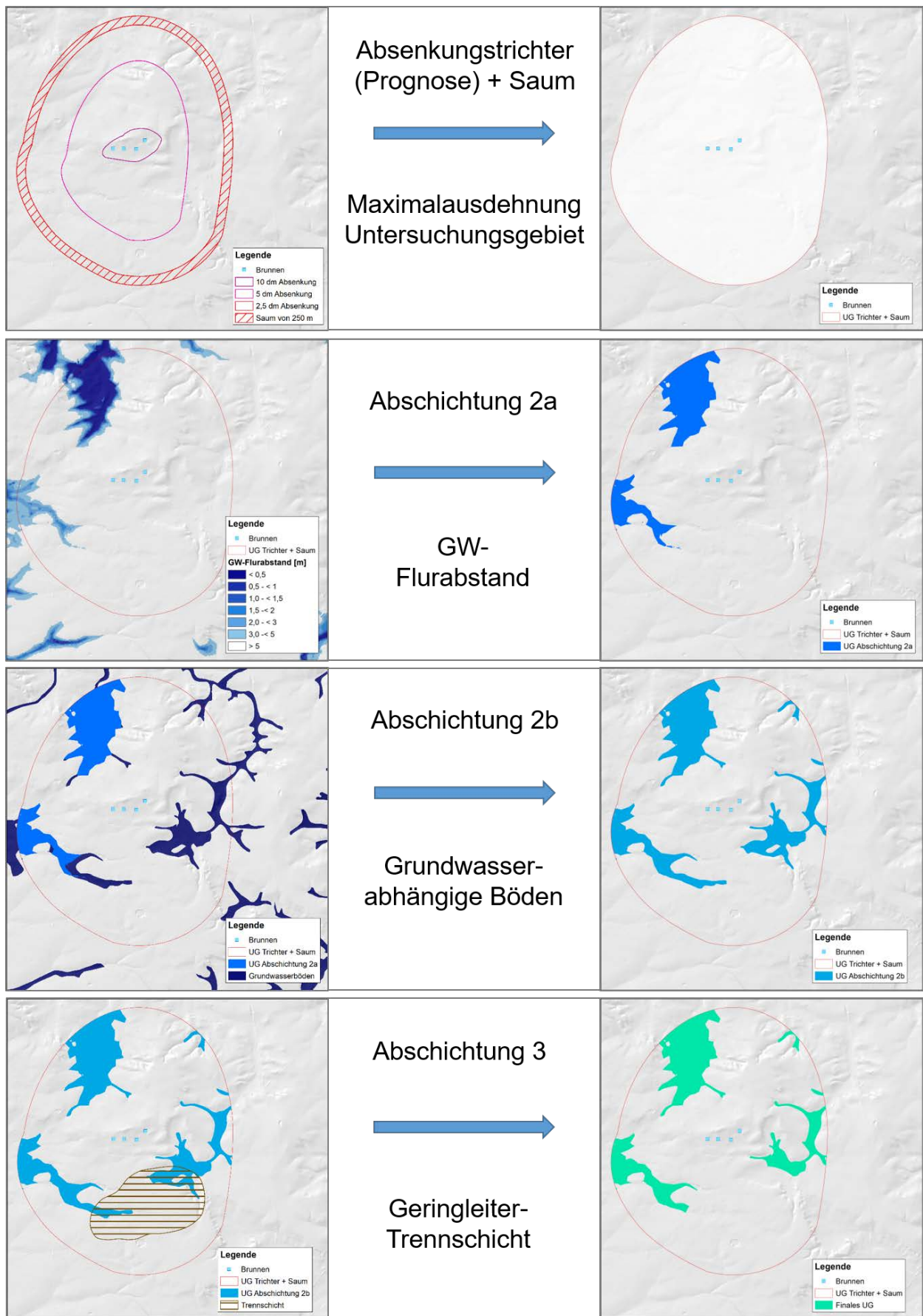


Abb. 4: Beispiel für die Umsetzung der Abschichtungsschritte aus Abbildung 3 zur Festlegung des bodenkundlichen Untersuchungsgebiets (UG). Jeweils links die Darstellung der Eingangsgrößen und rechts das Ergebnis des Abschichtungs(teil)schritts.

Zum anderen ist ein Ausschluss von (Teil-)Flächen mit GW-Flurabständen z. B. >5 m auch dann bodenkundlich genauer zu prüfen, wenn dort ein sogenannter semiterrestrischer, d. h. grundwasserbeeinflusster Boden vorliegt (d. h. Bodentypen: Gleye, Auenböden, Marschen). Diese Ausnahme ist in Abbildung 3 und 4 (Abschichtung 2b) illustriert. Grundwasserbeeinflusste Böden können prinzipiell von einer Grundwasserabsenkung durch eine Entnahme betroffen sein – auch wenn der hydrogeologisch ermittelte GW-Flurabstand >5 m beträgt (Details s. MEYER & HAUSCHILD 2016). An einem solchen Standort können sich daher bodenkundliche Standortdaten und Daten aus der Hydrogeologie beim Thema Grundwasserstand widersprechen und eine bodenkundliche Prüfung notwendig machen (Tab. 2). In der Hydrogeologie spricht man hierbei manchmal von schwebendem Grundwasser. In der Bodenkunde hingegen wird nicht zwischen schwebendem und im Hauptgrundwasserleiter befindlichen Grundwasser differenziert.

Das prinzipielle Vorkommen dieser Böden, z. B. im Bereich der Marschen, ist u. a. anhand der Bodenkarte für Niedersachsen (BK50) ableitbar. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der daher aufzunehmenden (Teil-)Flächen wird bei MEYER & HAUSCHILD (2016) näher erläutert. Für diese Bereiche ist eingehend bodenkundlich zu prüfen, z. B. zunächst anhand von Transektbeprobungen, ob der Bodenwasserhaushalt durch die Grundwasserentnahmen im IST-Zustand bereits beeinflusst wird oder werden kann. Dies ist im bodenkundlichen Gutachten plausibel darzulegen. Gegebenenfalls doch ausgeschlossene, nicht im Detail kartierte Bereiche mit grundwasserbeeinflussten Böden sollten bei Bedarf durch zusätzliche Messstellen abgesichert werden (s. Tab. 2). Dies ist im Durchführungsplan zur Beweissicherung festzuhalten (vgl. RAISSI et al. 2009).

Tab. 2: Zusammenspiel von Hydrogeologie und Bodenkunde bei Abschichtung 2a, b für die Ermittlung des bodenkundlichen Untersuchungsgebiets (Bewertungskriterium „GW-Flurabstand von 5 m“ als Beispiel, s. Text).

Bodenkunde	Hydrogeologie: GW-Flurabstand	
	< 5 m	> 5 m
<b>keine GW-beeinflussten Böden</b>	bodenkundliches Untersuchungsgebiet	Ausschluss aus dem bodenkundlichen Untersuchungsgebiet
<b>GW-beeinflusste Böden</b>	bodenkundliches Untersuchungsgebiet	bodenkundliche Prüfung, Kartierung, ggf. Messstellenbau

### 3.3 Ausschluss von Bodenbereichen ohne Beeinflussung durch Entnahmestockwerk (Abschichtung 3)

Zunächst wurden für den PROGNOSE-Zustand hydrogeologisch/hydraulisch ermittelte Absenkbeiträge im Entnahmestockwerk auf oberflächennahe Bereiche übertragen (Kap. 3.1). Falls die Entnahme nicht aus oberflächennahen Bereichen erfolgt und in Teilbereichen, z. B. aufgrund einer Geringleiter-Trennschicht, keine Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt nachweisbar sind, kann das Pflanzenwachstum dort nicht beeinträchtigt werden.

Solche nachweislich von der Entnahme unbeeinflussten (Teil-)Flächen können vom bodenkundlichen Untersuchungsgebiet ausgeschlossen werden (Abschichtung 3 in Abb. 3 und 4). In Abstimmung mit dem hydrogeologischen Gutachter ist zu prüfen, wo genau im Gebiet z. B. hydraulisch wirksame Trennschichten (GW-Geringleiter) vorkommen, um Bereiche, die maßgeblich durch Zwischenabfluss geprägt sind, zu identifizieren. Die hydraulische Wirksamkeit von geringleitenden Zwischenschichten ist von der Mächtigkeit und der jeweiligen Körnung abhängig, wofür die Daten meist nicht in ausreichend hoher Auflösung vorliegen. Vorzugsweise kann eine Abschätzung anhand bestehender Messdaten zum oberflächennahen Grundwasserstand, auch kombiniert mit Modellberechnungen, erfolgen. Hinweise können außerdem (hydro-)geologische Bohrungen bzw. Schnitte geben. Den darin verzeichneten hydrostratigraphischen Schichten können zwar Durchlässigkeitsklassen zugeordnet werden (vgl. REUTTER 2011); auf die Angabe bestimmter Durchlässigkeitsklassen als Unterscheidungskriterium für die Wirksamkeit wird hier jedoch aufgrund insgesamt großer Heterogenitäten im Schichtaufbau verzichtet.

Letztendlich dürfen weitere (Teil-)Flächen nur dann vom bislang ermittelten bodenkundlichen Untersuchungsgebiet ausgeschlossen werden, wenn aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen und Berechnungen die Abkoppelung des Bodenwasserhaushalts vom Entnahmestockwerk mit hoher Sicherheit nachvollziehbar dargelegt werden kann. Es wird empfohlen, dies z. B. durch Multilevel-Messstellen im Rahmen der Beweissicherung zu überprüfen (vgl. RAISSI et al. 2009). Auch nach dieser Abschichtung sollte an sinnvollen Grenzbereichen ein Saumbereich von 100 bis 300 m angefügt werden (vgl. Kap. 3.1). Siedlungs- und Freizeitflächen, Gewerbegebiete und größere Wasserflächen werden generell von einer bodenkundlichen Kartierung ausgeschlossen und in der Karte mit ausgewiesen.

#### 4. Bodeneinheiten, Bodenkarte und Absenkungsempfindlichkeiten

Hauptziel des bodenkundlichen Gutachtens ist die Abschätzung (s. Kap. 4.2) und flächenhafte Darstellung (s. Kap. 4.3) der potenziellen Auswirkungen entnahmebedingter Grundwasserabsenkungen auf den Ertrag von Nutzpflanzen. Die potenzielle Betroffenheit wird für repräsentative Vergleiche der Entnahmestände NULL vs. PROGNOSE sowie NULL vs. IST (ggf. IST vs. PROGNOSE) anhand der Methode zum Auswirkungsgrad von Grundwasserabsenkungen (RENGER et al. 2020) ermittelt.

Der IST-Zustand beschreibt die räumliche Verteilung der Grundwasserstände bei der mittleren aktuellen Entnahmemenge bzw. einem repräsentativen Mitteljahr der letzten 30 Jahre und ist generell bei einer Fortsetzung der Wasserrechte als Vergleichszustand zu ermitteln und zu bewerten. Er lässt sich nach HEUMANN, BUG & EVERTSBUSCH (2020) direkt anhand von Bodenmerkmalen (und ggf. weiterer Eingangsgrößen, s. Kap. 4.1) ermitteln.

##### 4.1 Bodenkenngrößen für Bodeneinheitentabelle und Bodenkarte

Auf Basis von Vorauswertungen digital oder analog vorliegender Bodenkarten sowie fremder Bohrungen (s. Kap. 2) wird eine Konzeptkarte für das bodenkundliche Untersuchungsgebiet erstellt (s. Kap. 3). Anhand der Konzeptkarte erfolgen die Planung und Durchführung intensiver bodenkundlicher Kartierungen. Ziel ist die Ausweisung und Abgrenzung von typischen Bodeneinheiten. Diese abgegrenzten Bodeneinheiten müssen weitgehend homogen sein, v. a. bezüglich Bodenart(en), Bodentyp/Übergangsbodentyp und bodenhydrologischen Verhältnissen, können aber durchaus räumlich verteilt auftreten. Die Eigenschaften sind übersichtlich in Bodeneinheitentabellen aufzulisten und zu erläutern. Es wird empfohlen, in der Tabelle die Bodeneinheiten in Zeilen und die Bodeneigenschaften in Spalten aufzuführen. In Abbildung 5 sind die in der Regel erforderlichen Bodenkennwerte als Spaltenüberschriften angegeben.

Die Längenangaben sollten möglichst in dm erfolgen, für wasserhaushaltliche Kenngrößen (z. B. Niederschlag, nFKWe) in mm. Bei den Grundwasserständen sind zur Abgrenzung in der Regel Unterschiede ab 2 dm relevant. Innerhalb einer Bodeneinheit sollten die angegebenen Grundwasserstände nicht mehr als um etwa 4 dm, besser 2 dm, variieren, um möglichst verlässliche Aussagen zum Bodenwasserhaushalt treffen zu können.

Neben Bodeneigenschaften aus der Kartierung werden in den Bodeneinheitentabellen Kennwerte und Ergebnisse von Auswertungsmethoden, z. B. nach BUG et al. (2020), dargestellt. Anzahl und Inhalte der Spalten sind variabel, weil u. a. die empfohlenen Daten für NULL-, IST- und PROGNOSE-Zustand bei Neu- bzw. Folgeanträgen mit gleichbleibender, erhöhter oder reduzierter Fördermenge variieren. Die einzelnen Spalten der Tabelle sollten im Gutachten zur besseren Nachvollziehbarkeit kurz erläutert werden, z. B. mit Angabe der Quelle oder der Verknüpfungsregel aus BUG et al. (2020).

Im Folgenden sollen die Tabellenspalten bzw. Bodenkennwerte exemplarisch für einen Folgeantrag mit gesteigerter Entnahmemenge beschrieben werden. Das Weglassen von hier empfohlenen Spalten sollte im Gutachten begründet werden, z. B. wenn bei einem Folgeantrag bodenkundlich keine Absenkungen im IST-Zustand festgestellt werden und ggf. Bewertungen IST vs. PROGNOSE sinnvoll sein könnten. Grundlegend ist die eindeutige Beschreibung von NULL-, IST- und PROGNOSE-Zustand sowie der Absenkungsursachen (Details bei HEUMANN, BUG & EVERTSBUSCH 2020). Die Nummerierung der Spalten ist hier beispielhaft und dient der Übersichtlichkeit.

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4
Nr. der Bodeneinheit	Leitprofil: Bodentyp	Leitprofil: Typische Substratfolge	Begleitprofil/ Varianten des Bodentyps
Spalte 5	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8
Effektive Durchwurzelungstiefe (We) [dm]	Mittl. nutzbare Feldkapazität in der We (nFKWe) [mm]	Max. ertragswirksame kapillare Aufstiegshöhe bis an die Untergrenze der We (kh <sub>ertrag</sub> ) [dm]	Ertragswirksamer Grenzflurabstand (GFAe) [dm]
Spalte 9	Spalte 10	Spalte 11	Spalte 12
Mittlerer ehemaliger GW-niedrigstand [dm]	Mittlerer aktueller GW-niedrigstand [dm]	Mittlerer aktueller GW-hochstand [dm]	Bodenkundlich feststellbarer aktueller Absenkungsbetrag [dm]
Spalte 13	Spalte 14	Spalte 15	Spalte 16
Ursache(n) der GW-Absenkungen	AWG-Stufen NULL vs. IST f. Normaljahre (Folgeantrag)	AWG-Stufen NULL vs. IST f. Trockenjahre (Folgeantrag)	Bewertung der Auswirkungen IST-Zustand (Folgeantrag)
Spalte 17	Spalte 18	Spalte 19	Spalte 20...
Max. mögliche Absenkung PROGNOSE [dm]	AWG-Stufen NULL vs. PROGNOSE f. Normaljahre	AWG-Stufen NULL vs. PROGNOSE f. Trockenjahre	Bewertung der Auswirkungen PROGNOSE-Zustand

Abb. 5: Empfohlene Angaben in den Bodeneinheitentabellen.



Zunächst werden die Spalten 1–13, die für die Erstellung der Bodeneinheitenkarte erforderlich sind, erläutert (die folgenden Spalten in Kap. 4.2):

#### Spalte 1

**Nummer der Bodeneinheit** (Untereinheiten sind möglich: a, b, c...).

#### Spalte 2

**Leitprofil: Bodentyp** (Kennzeichnung z. B. nach PEP 2000 oder Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005)).

#### Spalte 3

**Leitprofil: typische Substratfolge**, d. h. Bodenartenschichtung (bzw. Torfartenschichtung) eines repräsentativen Profils in dm; bis 2 m Tiefe bei landwirtschaftlicher Nutzung (Bodenarten möglichst nach BUG et al. 2020 bzw. AD-HOC-AG BODEN 2005).

#### Spalte 4

**Begleitprofile bzw. mögliche Varianten des Bodentyps** (mit Bodenartenschichtung, s. Spalte 3), falls deutliche Abweichungen vom Leitprofil auftreten. Alternativ können Ergänzungen z. B. auch hinter der Substratfolge des Leitprofils (in Klammern) erfolgen.

#### Spalte 5

**Effektive Durchwurzelungstiefe (We)** in dm: Die We beschreibt den Bodenbereich (von der Geländeoberfläche gemessen), in dem das pflanzenverfügbare Bodenwasser in trockenen Jahren voll ausgeschöpft werden kann (AD-HOC-AG BODEN 2005). Der Wert kann nach Verknüpfungsregel 6.1.6 (BUG et al. 2020) in Abhängigkeit von der Bodenart, der Lagerungsdichte und der Nutzung (Acker, Grünland) ermittelt werden. Unter besonderen Bedingungen sind weitere Anpassungen notwendig, z. B. endet die We bei Grundwasserböden spätestens 1 dm oberhalb des mittleren Grundwassertiefstandes (MNGW). Außerdem kann – z. B. bei zwischengeschalteten, geringmächtigen Grobsandlagen – auf Werte aus weiteren anerkannten Regelwerken (DIN 4220 (2008) oder DWA-A 920-1 (2016)) zurückgegriffen werden. Die Angabe der We für verschiedene Nutzungen einer Bodeneinheit erfolgt z. B. durch A = Acker, G = Grünland, ggf. F = Forst. (Die We von Forststandorten kann auch nach Verknüpfungsregel 6.1.6 für Flach- und Tiefwurzler bestimmt werden (s. a. RAISSI, MÜLLER & MEESENBURG 2009). Dabei sollte beachtet werden, dass

auch für Forststandorte mit (nach Tabelle) sehr großem Wurzelraum die We nicht in das Grundwasser hineinragt, sondern auch 1 dm über dem MNGW endet.)

#### Spalte 6

**Mittlere nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe)** in mm: Dies ist die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser, die der Boden in seinem effektiven Wurzelraum entgegen der Schwerkraft zu speichern vermag. Zunächst wird die nFK (in mm/dm) im Bereich der We (Spalte 5) nach Verknüpfungsregel 6.1.7 (BUG et al. 2020) aus der Bodenart, dem Humusgehalt und der Lagerungsdichte (oft Ld3) ermittelt. Für Wasserrechtsverfahren wird empfohlen, die nFK auf das Feuchteäquivalent (FÄ) zu beziehen. Der Wert nFKWe wird als Summe der nFK über die gesamte We angegeben. Je geringer die nFKWe ist, desto größer ist die Bedeutung von aus dem Grundwasser kapillar aufsteigendem Wasser für das Wachstum der Vegetation. Deshalb fallen die Auswirkungen einer Grundwasserabsenkung bei Böden mit geringer nFKWe größer aus als bei Böden mit hoher nFKWe.

#### Spalte 7

**Maximale ertragswirksame kapillare Aufstieghöhe (kh<sub>ertrag</sub>)** in dm: Dieser Wert gibt nach Verknüpfungsregel 6.5.5 (BUG et al. 2020) in Abhängigkeit von der Bodenart den Abstand zwischen der Untergrenze der We und dem Grundwasserstand an, bei dem selbst in Trockenjahren Grundwasser noch ertragsrelevant kapillar aufsteigen kann. Dazu wird angenommen, dass eine  $k_r < 0,3$  mm/d in der Vegetationsperiode nicht ertragsrelevant ist (s. RENGER et al. 2020). Werden in Spalte 3 mehrere Bodenarten angegeben, sollte im Sinne eines ‚worst case‘ die Bodenart mit dem geringsten Wert für kh<sub>ertrag</sub> angesetzt werden.

#### Spalte 8

**Ertragswirksamer Grenzflurabstand (GFAe)** in dm: Der GFAe beschreibt die potenzielle Tiefenlage der Grundwasseroberfläche, bis zu der noch eine für die Ertragsbildung wirksame Wassermenge aus dem Grundwasser kapillar in den effektiven Wurzelraum aufsteigen kann. Er entspricht der Summe aus We (Spalte 5) und kh<sub>ertrag</sub> (Spalte 7). Der Kennwert ist das entscheidende Kriterium, ob ein Standort im NULL-Zustand noch Anschluss an das Grundwasser hat und daher absenkungsempfindlich sein könnte.

### Spalte 9

**Mittlerer ehemaliger (reliktischer) Grundwassertiefstand** in dm: Der ehemalige MNGW ( $\neq$  NULL-Zustand, vgl. Spalte 13) kann aus hydromorphen Bodenmerkmalen wie Eisen- und Manganfleckung bzw. dem Vorkommen reduktiver Merkmale (vgl. HEUMANN, BUG & EVERTSBUSCH 2020) im Abgleich mit Daten älterer Bohrungen (z. B. vom NLFb) abgeleitet werden. Dieser Wert trägt zur Abschätzung und Bewertung bereits erfolgter Grundwasserabsenkungen in den Spalten 12 und 13 bei. Er ist mit entsprechenden Wasserstandsangaben aus dem hydrogeologischen Gutachten zu plausibilisieren. Falls möglich (vgl. HEUMANN, BUG & EVERTSBUSCH 2020), ebenfalls Angabe des mittleren ehemaligen MHGW.

### Spalte 10

**Mittlerer aktueller Grundwassertiefstand MNGW (IST)** in dm: Dieser Wert bzw. die Wertespanne kann ebenfalls anhand der hydromorphen Bodenmerkmale wie Eisen- und Manganfleckung bzw. des Vorkommens reduktiver Merkmale abgeleitet werden (vgl. HEUMANN, BUG & EVERTSBUSCH 2020). Zusätzlich kann der in den Bohrlöchern gemessene Grundwasserstand unter Geländeoberfläche nach Abgleich mit langjährig gemessenen Wasserständen in Grundwassermessstellen einbezogen werden. Die Angabe von Wertespannen ist oft unumgänglich, insbesondere bei stark wechselndem Relief. Bei grundwasserfernen Böden kann der MNGW oft nur aus dem prognostizierten Flurabstand des numerischen Grundwasserströmungsmodells, dem Relief, dem Wasserstand aus Grundwassermessstellen und eventuell im Forst durchgeführten Bohrungen (Forstliche Standortskartierung) abgeleitet werden.

### Spalte 11

**Mittlerer aktueller Grundwasserhochstand MHGW (IST)** in dm: Der aktuelle MHGW kann aus Ergebnissen der eigenen Kartierung (vgl. HEUMANN, BUG & EVERTSBUSCH 2020) sowie Messungen des Grundwasserstandes in oberflächennah verfilterten Grundwassermessstellen abgeleitet werden. Bei stauwasserbeeinflussten Bodenprofilen (z. B. Pseudogleye und Übergangsformen sowie Hochmooren) evtl. Angabe des abgeschätzten mittleren Stauwasserhochstandes.

### Spalte 12

**Bodenkundlich feststellbarer aktueller Absenkungsbetrag** in dm: Der Betrag der aktuellen Gesamtabenkung bzw. deren Spanne wird aus den

Kartierungen ehemaliger und aktueller Grundwasserstände (meist der MNGWs) abgeleitet (vgl. HEUMANN, BUG & EVERTSBUSCH 2020).

### Spalte 13

**Ursache(n) der Grundwasserabsenkung:** Im IST-Zustand feststellbare Grundwasserabsenkungen nach Spalte 12 können auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden, so dass Absenkungsursachen im Gutachten möglichst differenziert werden sollten: I Entwässerung/meliorativ; II Grundwasserentnahme durch Wasserwerk, evtl. Beregnung. Dies kann durch Feldmethoden, ggf. in Kombination mit empirischen Verfahren erfolgen (vgl. HEUMANN, BUG & EVERTSBUSCH 2020). Angestrebt wird hier insbesondere, die Beträge bzw. Spannen der durch die laufenden Entnahmen des Wasserwerks verursachten IST-Absenkungen flächenhaft abzugrenzen.

## 4.2 Ermittlung der Absenkungsempfindlichkeiten

Die Ermittlung von Auswirkungsgraden im bodenkundlichen Wasserrechtsgutachten ist sowohl bei einem beabsichtigten Pauschalausgleichsverfahren als auch bei der vorgesehenen Vereinbarung jahresspezifischer Zahlungen mittels Jahresberichten notwendig (s. Abb. 1). Zum einen bietet sie eine gute Basis für jährliche Pauschalzahlungen, zum anderen ermöglicht sie bei einer Vereinbarung jahresspezifischer Zahlungen den betroffenen Flächeninhabern und auch den Verursachern der GW-Absenkung schon zum Zeitpunkt der Antragstellung eine ungefähre Abschätzung, wie hoch mittlere Ertragsminderungen in etwa ausfallen können.

Das Prinzip der Methode ‚Auswirkungsgrad von Grundwasserabsenkungen‘ (AWG) wird in RENGER et al. (2020) ausführlich beschrieben; im vorliegenden Geofakt wird die spezielle Anwendung dieser Methode im bodenkundlichen Gutachten zum Wasserrechtsantrag erläutert. Es werden zunächst die Berechnungsschritte sowie die speziellen Eingangsgößen und danach eine empfohlene Darstellung in weiteren Spalten der Bodeneinheitentabelle (s. Abb. 5) beschrieben.

Die Ermittlung des AWG erfolgt in drei Schritten nach Abbildung 6. Zunächst wird für die klimatischen Einflussfaktoren der Kennwert ‚Gewogener Mittelwert des Klimatischen Wasserbilanzdefizits innerhalb der Vegetationsperiode (MKWDv)‘ aus monatlichen Niederschlags- und Verdunstungssummen berechnet. Landwirtschaftliche Nutzungen unterscheiden sich in ihrer Vegetationsperiode (nach Tab. 3, vgl. RENGER et al. 2020). Daher ist

der Kennwert MKWD<sub>v</sub> für alle im Gebiet vorkommenden Nutzungen zu bestimmen. Zwei Auswertungen von möglichst aktuellen Klimadaten über 30 Jahre (ggf. der 30jährigen Referenzperiode) sind notwendig: die Auswertung der mittleren Normaljahre (50%-Perzentil) und der mittleren Trockenjahre (80%-Perzentil). Bei MKWD<sub>v</sub> < 0 ergeben sich mittels AWG keine Ertragseinbußen.

Der Median (50%-Perzentil, mittleres Normaljahr) und das 80%-Perzentil (mittleres Trockenjahr) des Kennwerts MKWD<sub>v</sub> für die Klimaperiode 1991–2020 werden als regionalisierte Daten im NIBIS® KARTENSERVEN zur Verfügung gestellt. Diese Datensätze sowie die Werte der einzelnen Jahre (ab 1991) können über den LBEG-Produktvertrieb (Fachdaten@lbeg.niedersachsen.de) entgeltfrei bezogen werden.



Abb. 6: Schritte der Ermittlung des Auswirkungsgrades (AWG) von Grundwasserabsenkungen (nach RENGGER et al. 2020).

Tab. 3: Empfohlene Auswertung und Darstellung der gewonnenen Mittelwerte des klimatischen Wasserbilanzdefizits (MKWD<sub>v</sub>) innerhalb der Vegetationsperiode verschiedener Nutzungen nach RENGGER et al. (2020) für durchschnittlich feuchte (50%-Perzentil) sowie überdurchschnittlich trockene (80%-Perzentil) Jahre eines 30jährigen Referenzzeitraums.

Nutzung	Zeitraum	MKWD <sub>v</sub> 50%-Perzentil [mm]	MKWD <sub>v</sub> 80%-Perzentil [mm]
Grünland	April – September		
Getreide, Winterraps	April – Juli		
Kartoffel	April* – August		
Mais, Zuckerrübe	Mai – September		

\* Die Vegetationszeit von Kartoffeln ist abhängig von der Sorte und kann von Juni – Oktober andauern.

Im zweiten Schritt der AWG-Methode (Abb. 6) wird der Unterschied im fruchtartspezifischen kapillaren Aufstieg (KAf) ohne und mit Grundwasserentnahme ermittelt (Differenz ΔKAf). Dazu gehen neben dem MKWD<sub>v</sub> aus Schritt 1 wichtige Kenngrößen zum Bodenwasserhaushalt (insbesondere die Grundwasserstände bzw. die Absenkung) ein. Im bodenkundlichen Gutachten sind hierfür z. B. bei Folgeanträgen mit gesteigerter Entnahme sowohl die potenzielle Betroffenheit für NULL- gegenüber PROGNOSE-Zustand als auch für NULL- gegenüber IST-Zustand (und ggf. IST- gegenüber PROGNOSE-Zustand) relevant. Prinzipiell wird für die AWG-Methode der mittlere Grundwasserstand der Vegetationsperiode (MGW<sub>v</sub>) herangezogen, der aus MHGW<sub>v</sub> und MNGW<sub>v</sub> abgeleitet werden kann (RENGGER et al. 2020).

Falls nur der MNGW bzw. der rMNGW kartierbar ist und der MHGW bzw. rMHGW unbekannt sein sollte (vgl. HEUMANN, BUG & EVERTSBUSCH 2020), kann für die AWG-Ermittlungen in Wasserrechtsgutachten die Eingangsgröße MGW<sub>v</sub> für die Vegetationsperiode April/Mai – September vereinfachend mit folgender Gleichung ermittelt werden:

$$MGW_v = 0,85 * MNGW$$

Speziell für das bodenkundliche Antragsgutachten sind die überwiegend bodenkundlich ermittelten Eingangsgrößen für NULL- und IST-Zustand der Spalten 9 bis 13 zu verwenden. Meist ist bei den Grundwasserständen eine Angabe von Wertespannen unumgänglich. Es wird empfohlen, hier für die AWG-Berechnungen die Mittelwerte dieser Spannen zu verwenden, was im Gutachten zu dokumentieren ist. Die Absenkungsbeträge für den PROGNOSE-Zustand sind dem hydrogeologischen Gutachten zu entnehmen (Angabe von Maximalwerten in Spalte 17, s. u.). In Schritt 2 ist vor der Differenzbildung (ΔKAf) zu prüfen, ob eine Anpassung von KAf an die für die jeweilige Bodeneinheit abgeleitete nFKWe (s. Abb. 5, Spalte 6) notwendig ist. Dies ist der Fall, wenn die individuell bestimmte nFKWe vom Tabellenwert stark abweicht (vgl. RENGGER et al. 2020).

Im letzten Schritt der AWG-Methode (Abb. 6) wird je nach landwirtschaftlicher Nutzung (Grünland, Getreide, Mais, andere Hackfrüchte) aus ΔKA mittels Regressionsgleichungen die relative Ertragsminderung (EM) und daraus die jeweilige AWG-Stufe abgeleitet (RENGGER et al. 2020). Die prozentuale Ertragsminderung bezieht sich auf den Ver-

gleich eines abgesenkten Standorts relativ zu demselben Standort ohne entnahmebedingte Absenkungen (meist dem NULL-Zustand). Die AWG-Methode wird – aufgrund von Auswertungen von Ergebnissen langjähriger Berechnungsversuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen sowie Erhebungen von Betrieben – im Bereich von 5 bis 55 % EM als verlässlich und gut geeignet angesehen. Berechnungsverhältnisse für EM außerhalb dieses Vertrauensbereichs liegen im Bereich der Methodenungenauigkeit und müssen nicht zwingend angegeben werden (Detail bei RENGER et al. 2020).

Aus diesen Ausführungen ergibt sich eine relativ hohe Anzahl an Fällen, für die ein AWG ermittelt werden kann:

*Anzahl Bodeneinheiten \* Anzahl Nutzungen \* Normal- bzw. Trockenjahre \* Vergleiche verschiedener Zustände (NULL/IST/PROGNOSE).*

Da die potenzielle Absenkungsempfindlichkeit im Gutachten zum WR-Antrag möglichst als ‚worst case‘ dargestellt werden soll, lässt sich eine Auswahl von bestimmten Fällen nur sehr eingeschränkt empfehlen. Folgendes ist zu beachten:

- Ackerflächen weisen im Normalfall eine höhere We und damit einen größeren GFAe auf als Grünland. Daher sollte eine Grünlandnutzung für jede Bodeneinheit, in der sie in relevanten Anteilen vorkommt, gesondert betrachtet werden.
- Die alleinige Betrachtung nur einer der möglichen Ackernutzungen (Getreide, Mais etc.) erlaubt keine generelle Aussage über die Absenkungsempfindlichkeit der anderen Ackernutzungen. Denn die Werte für KAf variieren je nach Nutzung, und bei der Berechnung der Ertragsverluste aus  $\Delta KAf$  werden für unterschiedliche Nutzungen mehrere verschiedene Faktoren in den Regressionsgleichungen verwendet (RENGER et al. 2020). Für den Fall, dass im Verfahren AWG-Berechnungen nur für eine Ackerkultur erfolgen sollen, kann eine Beschränkung auf den mittelstark auf Absenkungen reagierenden Mais empfohlen werden. Voraussetzung dafür ist, dass diese Kulturart eine der flächenmäßig bedeutendsten im Absenkungsgebiet ist.
- Auswirkungsgrade sollten möglichst für Trocken- und für Normaljahre berechnet werden.

- Auswirkungsgrade sollten für sinnvolle Vergleiche von Zuständen (NULL, IST, PROGNOSE) ermittelt werden. Welche Vergleiche im jeweiligen Wasserrechtsverfahren sinnvoll sind, ist individuell zu entscheiden und zu begründen. NULL- und PROGNOSE-Zustand müssen immer verglichen werden.
- Frühere z. T. angewandte Faustregeln wie eine „nFKWe/2“-Vorprüfung haben sich mit der Überarbeitung der AWG-Methode als zu vereinfachend herausgestellt und werden von RENGER et al. (2020) nicht empfohlen.
- Fälle mit  $MKDW_v < 0$  können von vornherein ausgeschlossen werden, da sich dafür keine Ertragsminderung mittels AWG ergibt.

Es wird empfohlen, möglichst alle Berechnungsergebnisse in der Bodeneinheitentabelle darzustellen (d. h. ab Spalte 14 in Abb. 5):

- AWG-Ergebnisse für verschiedene Nutzungen können als Unterzeilen (Kennzeichnung z. B. (Gr), (Ge), (M), (H)) in den Zeilen der Bodeneinheiten angegeben werden.
- AWG-Ergebnisse für Normal- und Trockenjahre können in zwei getrennten Spalten der Bodeneinheitentabelle angegeben werden.
- AWG-Ergebnisse für die Vergleiche von NULL- gegenüber IST-Zustand sowie NULL- (IST-) gegenüber PROGNOSE-Zustand sollten auch in getrennten Spalten angegeben werden.

Aus diesen Ausführungen ergeben sich folgende Empfehlungen für weitere Spalten (vgl. Abb. 5):

#### Spalte 14

**AWG-Stufen NULL gegenüber IST für Normaljahre** (nach Nutzungen).

#### Spalte 15

**AWG-Stufen NULL gegenüber IST für Trockenjahre** (nach Nutzungen).

#### Spalte 16

**Bewertung (ja/nein)** bei Folgeanträgen, ob durch die Grundwasserförderung bereits **im IST-Zustand Ertragsbeeinträchtigungen in Normal- oder Trockenjahren** (evtl. Unterspalten bilden) bei relevanten Nutzungen aufgetreten sind (basierend auf den Spalten 14 und 15).



### Spalte 17

Die Höhe der **maximal möglichen Grundwasserabsenkung** (entnahmebedingt) in dm gegenüber dem NULL-Zustand bei Erhöhung der Fördermenge soll hier, basierend auf der hydrogeologischen Prognoserechnung, angegeben werden. Zusätzlich sollte hier bzw. im Text erläutert werden, welche Variante/Szenario des Grundwasserströmungsmodells (Fördermengen der einzelnen Brunnen) etc. die Grundlage für die Abschätzung ist.

### Spalte 18

**AWG-Stufen NULL gegenüber PROGNOSE für Normaljahre** (nach Nutzungen).

### Spalte 19

**AWG-Stufen NULL gegenüber PROGNOSE für Trockenjahre** (nach Nutzungen).

### Spalte 20

**Bewertung (ja/nein)**, ob **bei den maximal prognostizierten Grundwasserabsenkungen** gemäß der hydrogeologischen Prognose (Spalte 17) im Vergleich zum NULL-Zustand und unter Berücksichtigung lokaler Besonderheiten (z. B. Stauwasser, s. Spalte 21) **Ertragsbeeinträchtigungen zu erwarten sind**. Betroffene Unterbereiche der Bodeneinheit können ggf. in Spalte 21 beschrieben werden. Die Bewertung basiert auf den AWG-Stufen in den Spalten 18 und 19.

### Spalte 21 (nicht in Abb. 5 aufgeführt)

**Ergänzende Bemerkungen** zu sonstigen Einflüssen auf den Bodenwasserhaushalt, wie Hangwasserzufluss, Stauwasserbeeinflussungen sowie Vorflutausbau. **Hinweise zur Beweissicherung** in den jeweiligen Bodeneinheiten, ggf. Ergänzung des bestehenden Konzepts, Bau von flachen Grundwassermessstellen.

Hinweis: Die Angaben in den Spalten 16 und 20 sind auf die Bewertung landwirtschaftlicher Nutzungen bezogen und daher nicht auf naturschutzfachliche Fragen übertragbar. Für solche Bewertungen sind jedoch die Angaben zum Grundwasserstand und zu bodenkundlich festgestellten Veränderungen (Spalten 9 bis 13) durchaus relevant.

## 4.3 Empfohlene Darstellungen der Bodendaten und Kenngrößen

Die zentralen Ergebnisse des Gutachtens sind neben einer nachvollziehbaren Bodeneinheitentabelle übersichtliche Darstellungen der wichtigsten Auswertungen zur Absenkungsempfindlichkeit in Kartenform. Dazu zählen:

- Die räumliche Verbreitung der nummerierten Bodeneinheiten ist in einer Bodenkarte zu veranschaulichen (Maßstab 1 : 5.000 bis 1 : 10.000). Es sollte die räumliche Verbreitung verschiedener Nutzungen (Acker, Grünland, Forst, naturnahe Vegetation etc.) kenntlich gemacht werden, ggf. in einer weiteren Karte.
- Die räumliche Verbreitung der potenziellen Absenkungsempfindlichkeit von Bodeneinheiten ist ebenfalls in einer Karte/Karten zu veranschaulichen (Maßstab 1 : 5.000 bis 1 : 10.000, wie bei der Bodenkarte). Es wird empfohlen, in diesen Karten vereinfachte Betroffenheitskategorien, z. B. mittels der AWG-Stufen (RENGER et al. 2020) oder der generellen Betroffenheit in Normal- und/oder Trockenjahren, d. h. anhand der Angaben in den Spalten 16 und 20, festzulegen. Darstellungen der AWG-Ergebnisse für Normal- und Trockenjahre können in zwei getrennten Karten erfolgen (wenn potenzielle Ertragsverluste auch für Normaljahre ermittelt wurden). Darstellungen der AWG-Ergebnisse für die Vergleiche NULL- vs. IST-Zustand und NULL- (und/oder IST-) vs. PROGNOSE-Zustand können ebenfalls in getrennten Karten erfolgen. Welche Vergleiche im jeweiligen Wasserrechtsverfahren sinnvoll sind, hängt von den Bedingungen ab. Bei Folgeanträgen mit gesteigerter Entnahme kann es sinnvoll sein, die Flächen mit zusätzlichen Ertragsbeeinträchtigungen ebenfalls in einer Karte kenntlich zu machen. Wie in Kapitel 4.2 angedeutet, kann ggf. die Darstellung der AWGs von Ackernutzungen auf den mittelstark reagierenden Mais reduziert werden, wenn er eine der häufigsten Kulturen darstellt.
- Zusätzlich ist dem Gutachten eine Karte mit den potenziell absenkungsempfindlichen Flächen beizufügen, d. h. den Flächen, die für das spätere Beweissicherungsverfahren „gesetzt“ sind (s. Abb. 1). Hier sind alle Flächen einzubeziehen, die zwei Bedingungen erfüllen (vgl. Kap. 3):

- I. Grundwasseranschluss im NULL-Zustand,
- II. entnahmebedingte Absenkungen, die eine relevante Verringerung des kapillaren Aufstiegs aus dem Grundwasser bewirken.

Zu beachten ist, dass dies nicht nur Flächen umfasst, für die ein relativer Ertragsverlust (d. h. AWG-Stufen 1–5) in Normal- oder Trockenjahren berechnet wurde. Denn statistisch gesehen ist noch trockeneres Wetter als in sogenannten mittleren Trockenjahren möglich.

Dem bodenkundlichen Gutachten sollte außerdem ein Vorschlag für den Durchführungsplan zur Beweissicherung beigefügt werden (ECKL & RAISSI 2009). Insbesondere, wenn eine Beweissicherung mittels kontinuierlicher Jahresberichte angestrebt wird (vgl. Tab. 1), ist für die zuletzt aufgeführten, potenziell absenkungsempfindlichen Flächen in einem Durchführungsplan aufzulisten, welche Daten jährlich erfasst und welche Auswertungen im Jahresbericht erfolgen sollen. Das Hauptziel des Jahresberichts Landwirtschaft ist die Ermittlung der konkreten, jahresspezifischen Auswirkungsgrade (in % Ertragsverlust) auf den im jeweiligen Jahr von der Absenkung betroffenen Bodeneinheiten zur Ableitung des finanziellen Ausgleichs (vgl. Abb. 1, Kasten 3B). Wichtige Eingangsgröße ist somit die räumliche Verteilung der jahresspezifischen, entnahmebedingten Absenkungen, die im hydrogeologischen Jahresbericht ermittelt werden sollte. Daher ist eine enge Abstimmung mit dem Durchführungsplan zur Hydrogeologie (weitere Details siehe RAISSI et al. 2009) zu empfehlen. Dies gilt auch für rein klimatisch bedingte Grundwasserabsenkungen in extremen Trockenjahren. Diese können u. a. dazu führen, dass für bodenkundliche Jahresberichte eine Korrektur der Grundwasserstände im NULL-Zustand nötig wird.

Hinweis: Die Bodenkarte mit den wichtigsten Kenngrößen der Bodeneinheitentabelle (insbesondere Bodeneigenschaften und reliktschen sowie aktuellen Grundwasserständen, Absenkungsursachen und -beträgen) sollte als lauffähige GIS-Datei (shp, Geodatenbank) der bodenkundlichen Landesaufnahme des LBEG zur Verfügung gestellt werden. Ebenso sollten die Bohrpunktabelle mit Koordinaten als digitales Austauschformat (xls, dbf, GEO-DIN) inklusive Aufnahmedaten mit den Antragsunterlagen übermittelt werden.

## Literatur

AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). – 5. Aufl., 438 S., 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover.

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 D1); Hennef.

BUG, J. HEUMANN, S., MÜLLER, U. & WALDECK, A. (2020): Auswertungsmethoden im Bodenschutz - Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®) – GeoBerichte **19**, 9. Aufl.; Hannover [*in Vorbereitung*].

ECKL, H. & RAISSI, F. (2009): Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen. – GeoBerichte **15**: 99 S., 39 Abb., 10 Tab., Anh.; Hannover (LBEG).

DIN 4220 (2020): Bodenkundliche Standortbeurteilung. Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen). – 2020-11, Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth).

DVGW (2008): Beweissicherung für Grundwasserentnahmen der Wasserversorgung. Technische Regel Arbeitsblatt **W 150**; Bonn.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (2016): Bodenfunktionsansprache. Teil 1: Ableitung von Kennwerten des Bodenwasserhaushaltes. – Arbeitsblatt DWA-A **920-1**, 12-2016, 67 S.

GEHRT, E. & RAISSI, F. (2008): Grundwasseramplituden in Bodenlandschaften Niedersachsens. – 2. Aufl., Geofakten **20**: 8 S., 5 Abb., 1 Tab.; Hannover (LBEG).

HEUMANN, S., BUG, J., EVERTSBUSCH, S. & MÜLLER, U. (2020): Bodenkundliche Ermittlungen von Grundwasserabsenkungen im Gelände – Erfassung und Abschätzung der anteiligen Grundwasserabsenkungsbeträge durch Grundwasserentnahme und Entwässerungsmaßnahmen. – 4. Aufl., Geofakten **5**: 9 S., 5 Abb., 2 Tab.; Hannover (LBEG).

- HILLMANN, M., MEESENBURG, H., RAISSI, F. & WOR-BES, M. (2009a): Auswirkungen von Grundwasserentnahmen auf die forstliche Nutzung, Teil 1: Rechtliche Rahmenbedingungen und Voruntersuchungen. –3. Aufl., Geofakten **15**: 8 S., 4 Abb., 2 Tab.; Hannover (LBEG).
- HILLMANN, M., MEESENBURG, H., RAISSI, F. & WOR-BES, M. (2009b): Auswirkungen von Grundwasserentnahmen auf die forstliche Nutzung, Teil 2: Forstliches Beweissicherungsverfahren. –3. Aufl., Geofakten **16**: 9 S., 5 Abb.; Hannover (LBEG).
- MEYER, K. & HAUSCHILD, S. (2016): Ermittlung und Bewertung des Grundwasserflurabstandes in Wasserrechtsverfahren. – 2. Aufl., Geofakten **28**: 3 S., 2 Abb., 1 Tab.; Hannover (LBEG).
- MULL, R. (Hrsg.) (1987): Anthropogene Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt. – 110 S.; Weinheim (VCH).
- NIBIS® KARTENSERVEN: Kartenserver im Niedersächsischen Bodeninformationssystem. – <<http://nibis.lbeg.de/cardomap3/>>.
- RAISSI, F. & MÜLLER, U. (2009): 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., 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) [*überarbeitete Version in Vorbereitung*].
- RENGER, M. (1986): Wasserverbrauch und Pflanzenertrag. – Kali-Briefe (Büntehof) **18** (2): 85–92; Hannover.
- RENGER, M., BUG, J., HEUMANN, S. & MÜLLER, U. (2020): Ermittlung der Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen auf den Ertrag landwirtschaftlich genutzter Flächen. – Geofakten **35**: 37 S., 7 Abb., 11 Tab., Anh.; Hannover (LBEG).
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1980): Wasserverbrauch und Ertrag von Pflanzenbeständen. – Kali-Briefe (Büntehof) **15** (2): 135–143; Hannover.
- RENGER, M., STREBEL, O., SPONAGEL, H. & WESSOLEK, G. (1984): Einfluss von Grundwassersenkungen auf den Pflanzenertrag landwirtschaftlich genutzter Flächen. – Wasser & Boden **10**: 499–502.
- RENGER, M., WESSOLEK, G. & RIEK, W. (1996): Auswirkungen der Grundwasserentnahme auf Land- und Forstwirtschaft. – Niedersächsische Akademie der Geowissenschaften **11**: 98 S.; Hannover.
- REUTTER, E. (2011): Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens. – 2. Aufl., Geofakten **21**: 11 S., 5 Abb., 2 Tab.; Hannover (LBEG).
- WHG (2009): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I: 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I: 2254) geändert worden ist. – <[http://www.gesetze-im-internet.de/whg\\_2009/WHG.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/WHG.pdf)>.

---

## Impressum:

Die Geofakten werden vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) herausgegeben und erscheinen unregelmäßig bei Bedarf. Der Bezug beim LBEG ist kostenlos.

Die bisher erschienenen Geofakten können unter <http://www.lbeg.niedersachsen.de> abgerufen werden.

© LBEG Hannover 2020

Die erste Auflage dieses Textes ist 2000 im damaligen Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung erschienen, die zweite Auflage im Juli 2008 im LBEG und die dritte Auflage im September 2009 im LBEG.

4. überarbeitete Auflage,  
basierend auf: RAISSI, F. & MÜLLER, U. (2009).

Version: 16.06.2021

DOI: 10.48476/geofakt\_6\_4\_2020

## Autoren

- Dr. habil. Sabine Heumann, Tel.: 0511/ 643 3500  
mail: [Sabine.Heumann@lbeg.niedersachsen.de](mailto:Sabine.Heumann@lbeg.niedersachsen.de)
- Dr. Jan Bug, Tel.: 0511/ 643 3876  
mail: [Jan.Bug@lbeg.niedersachsen.de](mailto:Jan.Bug@lbeg.niedersachsen.de)

Landesamt für Bergbau,  
Energie und Geologie  
Stilleweg 2, 30655 Hannover  
Internet: <http://www.lbeg.niedersachsen.de>