Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	**25** (2018), 1/2	S. 27–37	8 Abb., 2 Tab., 7 Zit.

Speisung bedeckter Grundwasserleiter im norddeutschen Lockergestein – Eine Auswertung für Mecklenburg-Vorpommern

Infiltration into confined aquifers in Northern Germany - an evaluation for Mecklenburg-Western Pomerania

Heiko Hennig & Toralf Hilgert

Veranlassung und Projektidee

Im Lockergesteinsbereich erfolgt die Grundwasserneubildung nahezu ausschließlich durch die Versickerung von Niederschlagswasser. Sie ist für Mecklenburg-Vorpommern landesweit als Differenz aus dem Niederschlag, der realen Verdunstung und dem schnellen, überwiegend dränungsbedingten Direktabfluss berechnet worden (Hennig & Hilgert 2007). Die Verdunstungsberechnung basierte dabei auf dem BAGLUVA-Verfahren (ATV-DVWK 2001). Die Direktabflüsse, die, wie gezeigt werden konnte, nicht der Verdunstung unterliegen, wurden über Wasserhaushaltsbetrachtungen ermittelt und anschließend regionalisiert. Das Berechnungsergebnis war der Zutritt von Niederschlagswasser zur gesättigten Bodenzone – die Grundwasserneubildung. Bei ungespannten Verhältnissen entspricht die Grundwasserneubildung weitgehend der Speisung des oberen Grundwasserleiters.

In Mecklenburg-Vorpommern sind aber auch durch Geschiebemergel bedeckte, gespannte Grundwasserleiter weit verbreitet. Eine Auswertung der im Landesbohrdatenspeicher erfassten Aufschlüsse zeigt, dass in 58 % der Bohrungen gespannte Verhältnisse anzutreffen sind, an ca. einem Drittel aller Bohrungen liegt der Druckwasserspiegel mehr als 5 m über der Basis des Hangendstauers (Abb. 1).

Wenn der genutzte Grundwasserleiter bedeckt und stark gespannt ist, treten im Hangendstauer auch laterale Abflüsse auf, die meist an Sandlagen innerhalb des Geschiebemergels gebunden sind. Dadurch entlastet ein Teil der Grundwasserneubildung auf kurzem Weg in die oberirdischen Vorfluter und erreicht nicht den genutzten Grundwasserleiter. Die Speisungsrate des Grundwasserleiters ist in diesen Fällen geringer als die Grundwasserneubildungrate. Eine noch stärkere Verminderung tritt auf, wenn der betrachtete Grundwasserleiter durch einen oberen Grundwasserleiter überlagert wird. Sehr tiefe – in Mecklenburg-Vorpommern häufig tertiäre – Grundwasserleiter weisen die geringsten Speisungsraten auf, da das neu gebildete Grundwasser bevorzugt in den oberen Horizonten abfließt. In der Abbildung 2 sind die unterschiedlichen Grundwasserspeisungstypen veranschaulicht und beschrieben.

Für die Bewertung der nutzbaren Grundwasserressourcen ist nicht die Grundwasserneubildung, sondern die Speisung des betrachteten Grundwasserleiters maßgebend. Bei detail-

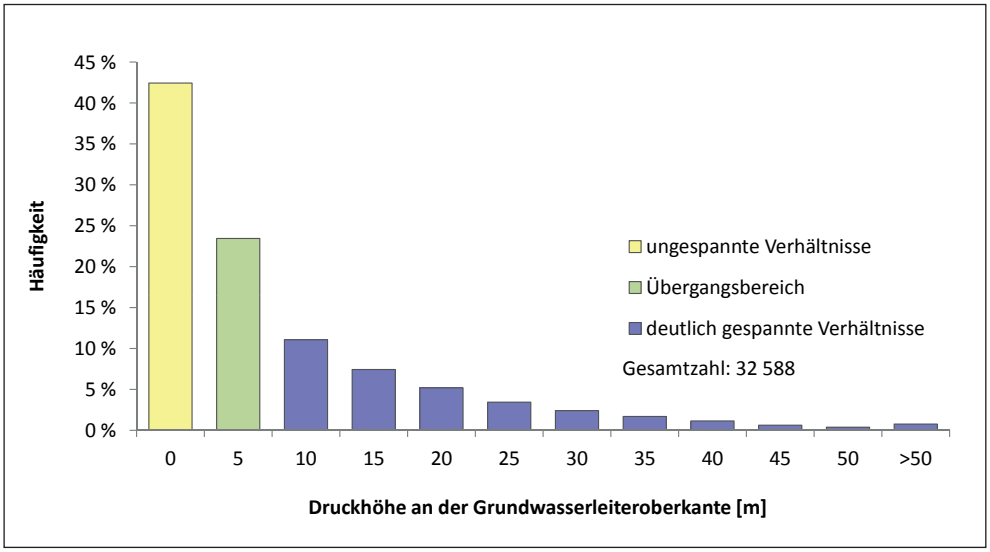
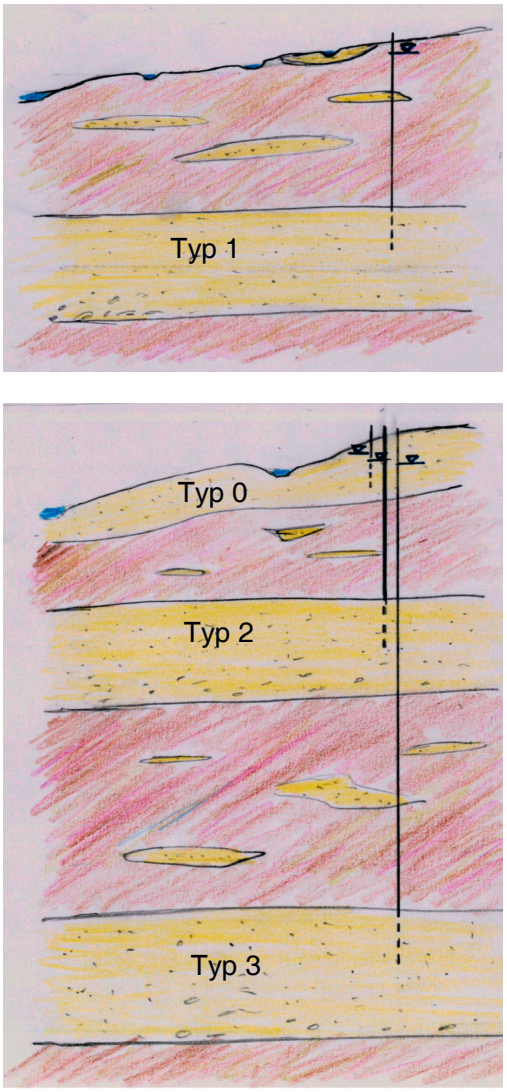


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Druckhöhe an der Grundwasserleiteroberkante (Auswertung der im Landesbohrdatenspeicher Mecklenburg-Vorpommern erfassten Aufschlüsse)

Fig. 1: Frequency distribution of the groundwater head at the aquifer top



Typ 0: Die Speisung des oberen, ungespannten Grundwasserleiters entspricht der Grundwasserneubildung aus Niederschlägen.

Typ 1: Der gespannte Grundwasserleiter wird von einem mächtigen Hangendstauer überlagert und ein Fließgewässernetz ist vorhanden. Laterale Fließprozesse entlang bevorzugter Strömungsbahnen bewirken, dass ein Teil der Grundwasserneubildung auf „kurzem Weg“ in die Vorflut entlastet und nicht den Grundwasserleiter erreicht.

Typ 2: Der Hangendstauer des bedeckten Grundwasserleiters wird von einem oberen Grundwasserleiter überlagert, in dem ein Großteil der Grundwasserneubildung horizontal abfließt.

Typ 3: Der tiefe, häufig tertiäre Grundwasserleiter wird von mehreren Grundwasserleiter-Stauer-Abfolgen überlagert. Die natürliche Speisungsrate ist sehr gering; eine Speisung, die eine Grundwassernutzung ermöglicht, wird nur durch die Druckentlastung infolge der Grundwasserentnahme induziert.

Abb. 2: Grundwasserspeisungstypen
Fig. 2: Types of groundwater infiltration

lierten lokalen Aufgabenstellungen (z. B. die Bemessung von Wasserschutzzonen) können geohydraulische Modellierungen eine realistische Grundwasserspeisung liefern, wenn die Hangendschichten in die Berechnung einbezogen werden. In Mecklenburg-Vorpommern wurden bereits zahlreiche 3D- oder Mehrschichtmodelle bearbeitet, die den Abfluss in den Hangendschichten berücksichtigen.
Angesichts des damit verbundenen Arbeitsaufwandes ist dieser Ansatz für Überblicksbetrachtungen zum Grundwasserdargebot (z. B. landesweite Karte der Grundwasserressourcen, Hennig et al. 2014) oder bei regionalen Grundwassermodellierungen (> 1 000 km²) aber nicht geeignet. In diesen Fällen ist es erforderlich, die Verminderung der Grundwasserneubildung in den Hangendschichten durch Reduktionsfaktoren zu berücksichtigen. Das Ziel der hier vorgestellten Arbeit war es daher, aus den vorliegenden hydrogeologischen Detailuntersuchungen Reduktionsfaktoren respektive Speisungsanteile abzuleiten und zu regionalisieren.

Datengrundlagen

Es wurden bestehende geohydraulische Modelle in Mecklenburg-Vorpommern recherchiert, die die Grundwasserspeisungstypen 1, 2 oder 3 repräsentieren und die Abflüsse in den Hangendschichten berücksichtigen, so dass sie für die Ermittlung von Reduktionsfaktoren geeignet sind. Diese Kriterien erfüllten 35 Projektgebiete, deren Lage in der Abbildung 3 dargestellt ist. Manche Modelle gestatteten es, die Speisung für unterschiedliche Grundwasserleiter zu bilanzieren. So berücksichtigt z. B. das Grundwasserströmungsmodell für den tiefen Wealden-Grundwasserleiter bei Greifswald (Typ 3) auch die Abflüsse in den oberen Grundwasserleitern (Typ 2). Insgesamt ergaben sich 44 Bilanzgebiete, die ausgewertet werden konnten.
Die Bilanzgebiete wurden steckbriefartig dokumentiert. Neben der Darstellung der Grundwassergleichen und eines

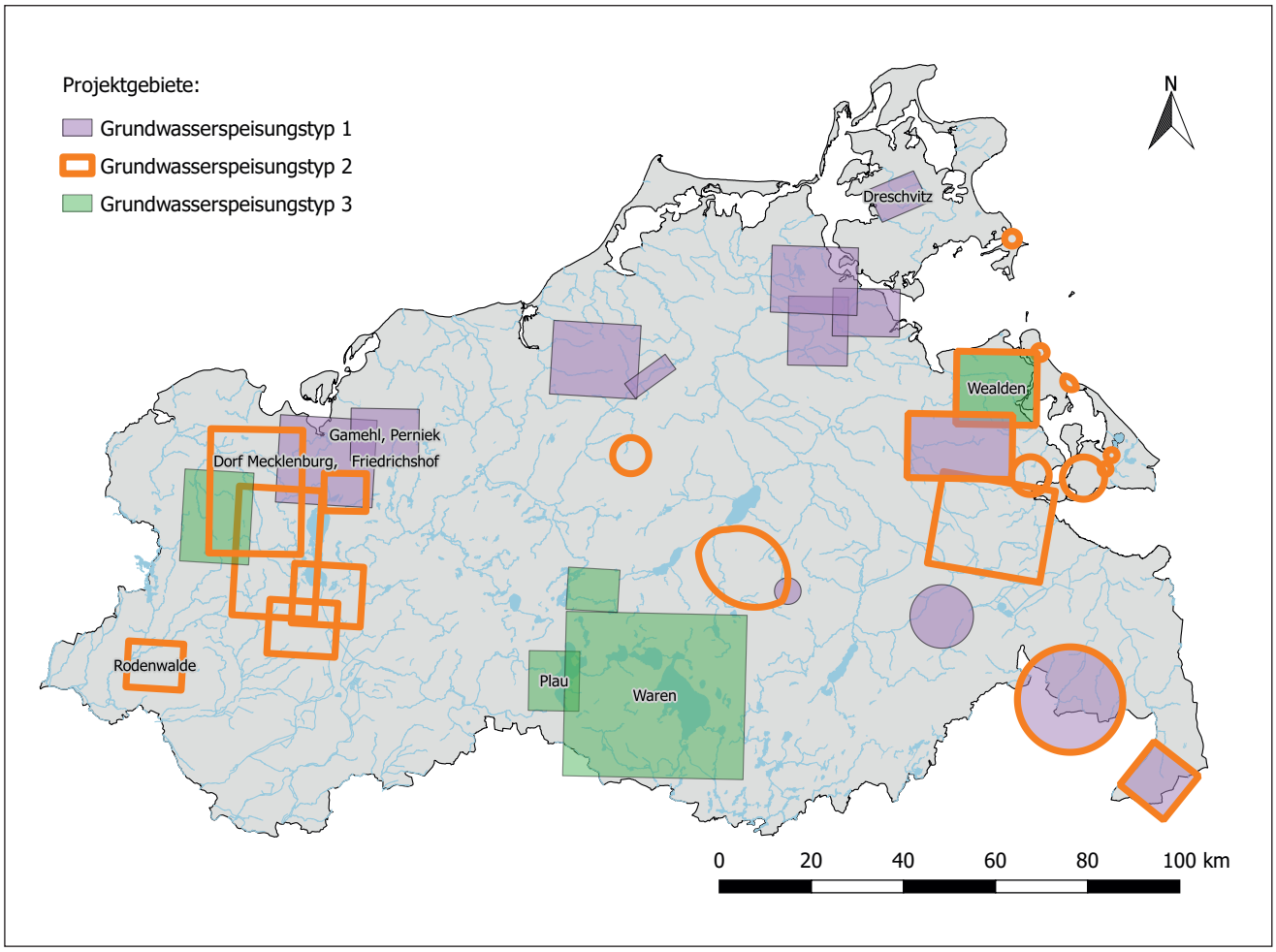


Abb. 3: Ausgewertete Projektgebiete
Fig. 3: Evaluated investigation areas

hydrogeologischen Schnittes enthalten die Steckbriefe Informationen zur:

- Gebietscharakteristik (hydrogeologische Verhältnisse, Größe des Projektgebietes, Vorflutdichte, Landnutzung),
- Grundwasserneubildungsberechnung (angewandtes Verfahren, Detailliertheit/ggf. Validierung der Berechnung, Direktabflussanteil) und
- Bilanzierungsmethode (geohydraulischer Modelltyp, Parametrisierung des Hangendstauers).

Darüber hinaus sind auf den Steckbriefen die Bilanzglieder, der ermittelte Speisungsanteil und die Bewertung der Zuverlässigkeit dokumentiert. Ein Beispiel zeigt die Abbildung 4.

Bilanzierungen zur Ermittlung der Grundwasserspeisung

Die zu bilanzierenden Gebiete wurden in die definierten Grundwasserspeisungstypen 1, 2 oder 3 entsprechend der Abbildung 2 eingruppiert. In der Abbildung 5 sind typische Lagerungsverhältnisse an Beispielen veranschaulicht, die nachstehend erläutert werden.

Grundwasserspeisungstyp 1 (Dreschvitz)
Im Raum Dreschvitz (Insel Rügen) ist ein gespannter Grundwasserleiter verbreitet, der von einem durchschnittlich 15 m mächtigen Geschiebemergel bedeckt wird. Lokale obere Sande sind meist trocken und nahezu ohne Einfluss auf die hydrodynamischen Verhältnisse. Das Gebiet ist durch eine mittlere Vorflutdichte gekennzeichnet – die Duvenbeek und in sie mündende Entwässerungsgräben haben neben der Ableitung von Direktabflüssen auch eine grundwasserentlastende Funktion. Innerhalb des gesättigten Bereiches sind horizontale Abflüsse im Geschiebemergel zu erwarten – neu gebildetes Grundwasser wird den Entwässerungsgräben zugeführt, wodurch sich die Speisung des genutzten Grundwasserleiters vermindert.

Grundwasserspeisungstyp 2 (Rodenwalde)
Die hydrogeologischen Verhältnisse um Rodenwalde im Südwesten Mecklenburg-Vorpommerns repräsentieren den typischen Leaky-Aquifer und damit den Grundwasserspeisungstyp 2. Der Hauptgrundwasserleiter wird von einem oberen Grundwasserleiter überlagert, wobei sich deren Druckpotenziale unterscheiden. Ein bedeutender Teil des neugebildeten Grundwassers fließt bereits im oberen

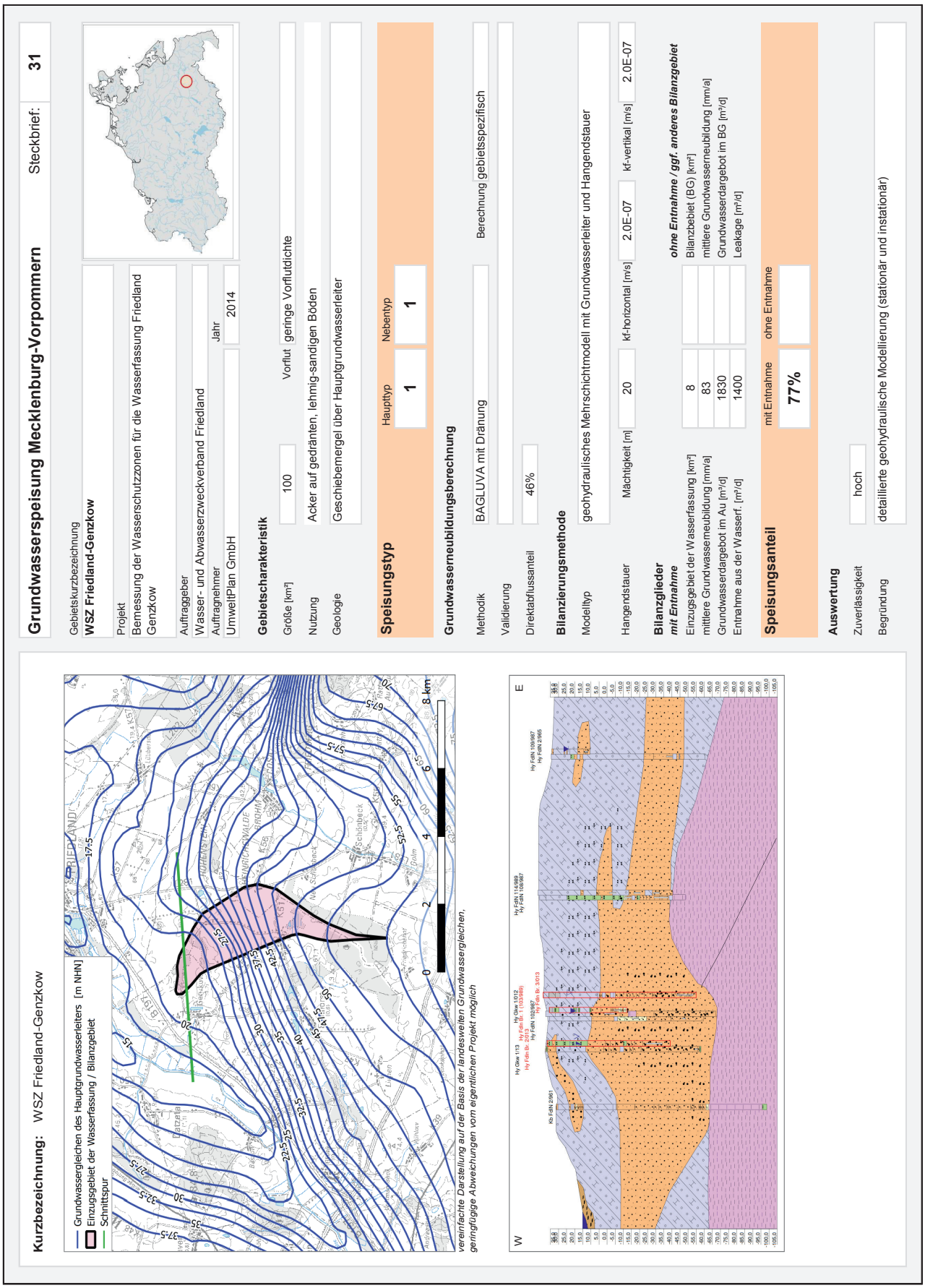
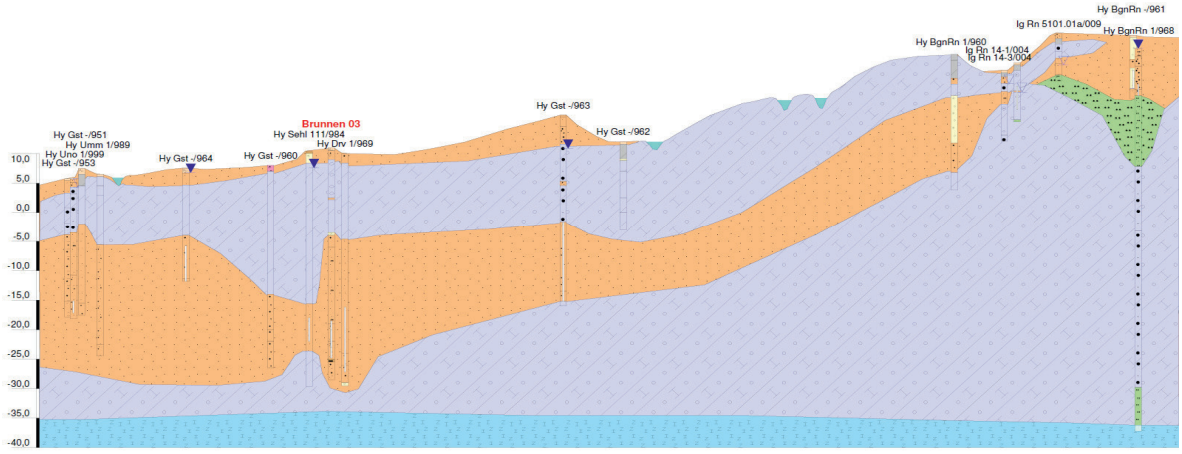
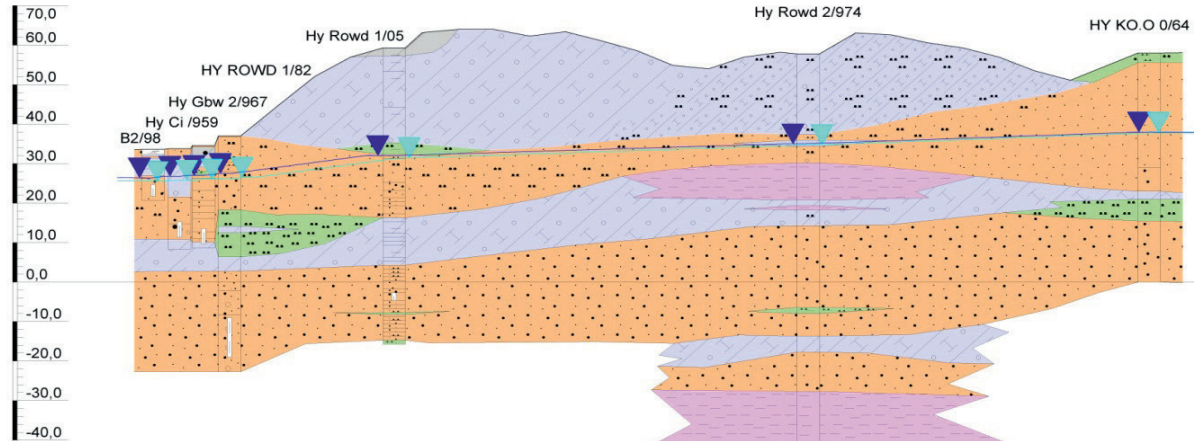


Abb. 4: Beispieldokumentation Steckbrief
Fig. 4: Example of a profile of the investigation areas

Grundwasserspeisungstyp 1 (Dreschvitz)



Grundwasserspeisungstyp 2 (Rodenwalde)



Grundwasserspeisungstyp 3 (Plau)

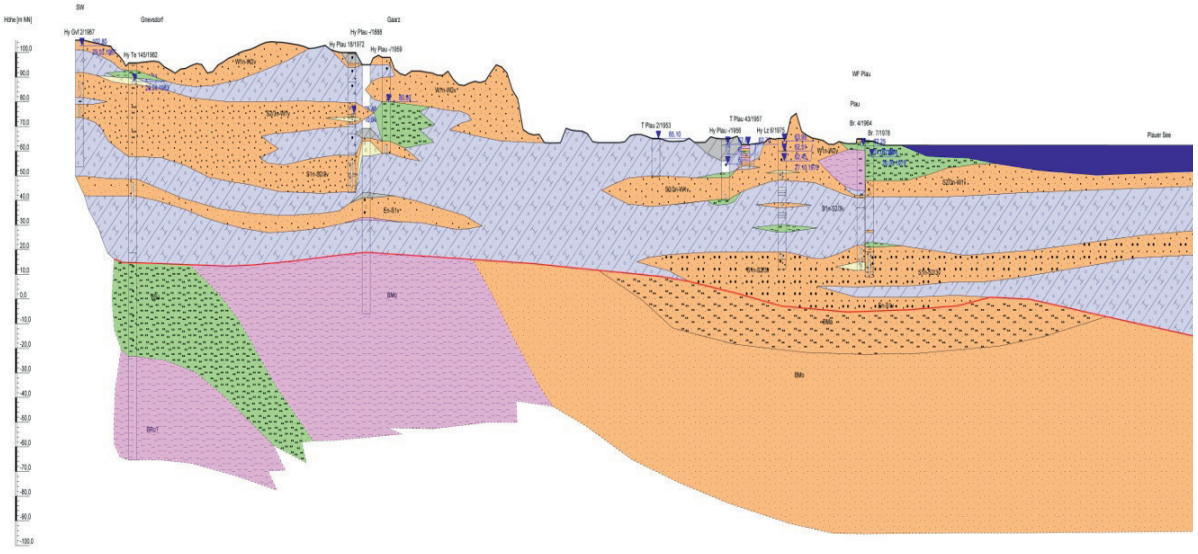


Abb. 5: Hydrogeologische Profilschnitte – Beispiele für die Grundwasserspeisungstypen 1, 2 und 3
Fig. 5: Hydrogeological profile sections – examples of groundwater infiltration types 1, 2 and 3

Grundwasserleiter ab, der Rest speist den Hauptgrundwasserleiter und entlastet erst in der Nähe der Vorfluter. Die Speisungshöhe ist abhängig von der Durchlässigkeit des Zwischenstauers und dem vertikalen Druckgradienten. Sie erhöht sich, wenn der Druck im Hauptgrundwasserleiter entnahmebedingt vermindert wird und damit der Druckgradient steigt.

Grundwasserspeisungstyp 3 (Plau)
In der Umgebung des Plauer Sees ist ein mächtiger tertiärer Grundwasserleiter verbreitet, der mit den darüber lagernden Pleistozän-Sanden in hydraulischer Verbindung steht. Hydrogenetische Untersuchungen zeigten, dass das den Brunnen zuströmende Wasser überwiegend den tertiären Schichten entstammt. Die Speisung des tertiären Grundwasserleiters ist gering, da das neu gebildete Grundwasser überwiegend in die oberen Grundwasserleiter abfließt und in das dichte Vorflutnetz entlastet.

Da bei wechselhaften Lagerungsverhältnissen eine eindeutige Zuordnung wie in den Beispielen der Abbildung 5 nicht immer möglich ist, wurde zur feineren Differenzierung auch jeweils ein Nebentyp festgelegt (Schreibweise: Haupttyp-Nebentyp, z. B. 1-2; bei einer eindeutigen Zuordnung entspricht der Nebentyp dem Haupttyp, z. B. 1-1). Aus der Kombination von Haupt- und Nebentyp ergaben sich nachstehende Mischtypen.

Mischtyp 1-2
Der bedeckte Grundwasserleiter wird vereinzelt von einem oberen, gering mächtigen Grundwasserleiter überlagert.

Mischtyp 2-0
Die gering leitenden Schichten zwischen oberem und unterem Grundwasserleiter sind nicht flächenhaft ausgebildet. Lokale hydraulische Fenster können vor allem bei einer Grundwasserentnahme eine verstärkte Speisung des unteren Grundwasserleiters bewirken.

Mischtyp 2-1
Der obere Grundwasserleiter ist nicht flächenhaft ausgebildet, so dass die hydrogeologischen Verhältnisse teilweise dem Grundwasserspeisungstyp 1 entsprechen.

Bei der Bilanzierung wurde jeweils der Speisungsanteil ermittelt. Dafür wurde das Grundwasserdargebot im Bilanzgebiet (berechnet als Summe der Grundwasserneubildung) auf die Speisung des betrachteten Grundwasserleiters bezogen. **Bilanzierungen** erfolgten zum Teil **für das Einzugsgebiet einer Wasserfassung:**

$$Speisungsanteil = \frac{Grundwasserdargebot}{Grundwasserentnahme}$$

und zum Teil **für ein natürliches Bilanzgebiet**:

$$Speisungsanteil = \frac{Grundwasserdargebot}{Speisung\ des\ Grundwasserleiters\ (Leakage)}.$$

In manchen Gebieten war es möglich, die Bilanzierung sowohl für die Strömungsverhältnisse bei Entnahme als auch für den natürlichen Strömungszustand vorzunehmen. Dabei zeigte sich erwartungsgemäß, dass in Gebieten, die dem Grundwasserspeisungstyp 2 oder 3 zuzuordnen sind (oberer Grundwasserleiter über genutztem Grundwasserleiter), durch die Entnahme eine verstärkte Speisung induziert wird (z. B. Rodenwalde, Abb. 5 in Verbindung mit Abb. 6: ohne Entnahme 37 %, mit Entnahme 53 %). Bei Grundwasserleitern des Typs 1 ist die entnahmeinduzierte Speisung hingegen sehr gering und kann vernachlässigt werden (z. B. Dreschvitz, Abb. 5 in Verbindung mit Abb. 6: ohne Entnahme 79 %, mit Entnahme 85 %).
Die Zuverlässigkeit des jeweils ermittelten Speisungsanteiles wurde in Abhängigkeit vom geohydraulischen Modellansatz bewertet. Bei einer ortsdiskreten Modellierung unter Berücksichtigung der Fließprozesse in den Hangendschichten, verbunden mit einer regelgerechten Kalibrierung/Validierung kann im Allgemeinen von einer hohen Zuverlässigkeit ausgegangen werden. Die Zuverlässigkeit horizontal ebener oder analytischer Modellansätze, bei denen sich die Speisungsrate als Kalibrierungsparameter ergab, wurde hingegen als mittel eingeschätzt. Projekte mit einer geringen Zuverlässigkeit (meist Projekte ohne Kalibrierung an Grundwasserständen oder Abflüssen) wurden sofort aussortiert und nicht dokumentiert. Insgesamt wurden für 35 Gebiete mit einer hohen Zuverlässigkeit und für 9 Gebiete mit einer mittleren Zuverlässigkeit die Speisungsanteile ermittelt.

Auswertung der ermittelten Speisungsanteile

In der Abbildung 6 sind die Speisungsanteile der Untersuchungsgebiete sortiert nach Grundwasserspeisungstypen dargestellt.
Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass der **Speisungsanteil beim Typ 1** (bedeckter und gespannter Hauptgrundwasserleiter) relativ einheitlich zwischen 70 % und 90 % liegt, d. h. ein Anteil von 10–30 % des neugebildeten Grundwassers strömt innerhalb des Hangendstauers lateral ab und entlastet in die Vorfluter ohne den genutzten Grundwasserleiter zu erreichen. Auch die Gebiete des Mischtyps 1-2 ordnen sich hier weitgehend ein.
Eine Ausnahme im Grundwasserspeisungstyp 1 zeigte sich im Raum Wismar, der durch sehr inhomogene Lagerungsverhältnisse geprägt ist. Die genutzten Grundwasserleiter sind hier nur kleinräumig verbreitet und hydraulisch schlecht an benachbarte Grundwasserleiter angebunden. Das bewirkt lokal starke Grundwasserabsenkungen und einen (vergleichsweise geringen) Zustrom aus einem großen Einzugsgebiet. Die über Modellbilanzen berechneten Speisungsanteile sind gering, da ein Großteil der Grundwasserneubildung innerhalb der heterogenen Hangendschichten abströmt. Das betrifft vor allem die Wasserfassungen Dorf Mecklenburg, Losten, Gamehl und Perniek, die mit Speisungsanteilen zwischen 40 % und 50 % als Sonderfall betrachtet und als Typ 1x bezeichnet wurden. Angesichts ihrer spezifischen hydrogeologischen Verhältnisse verschließen

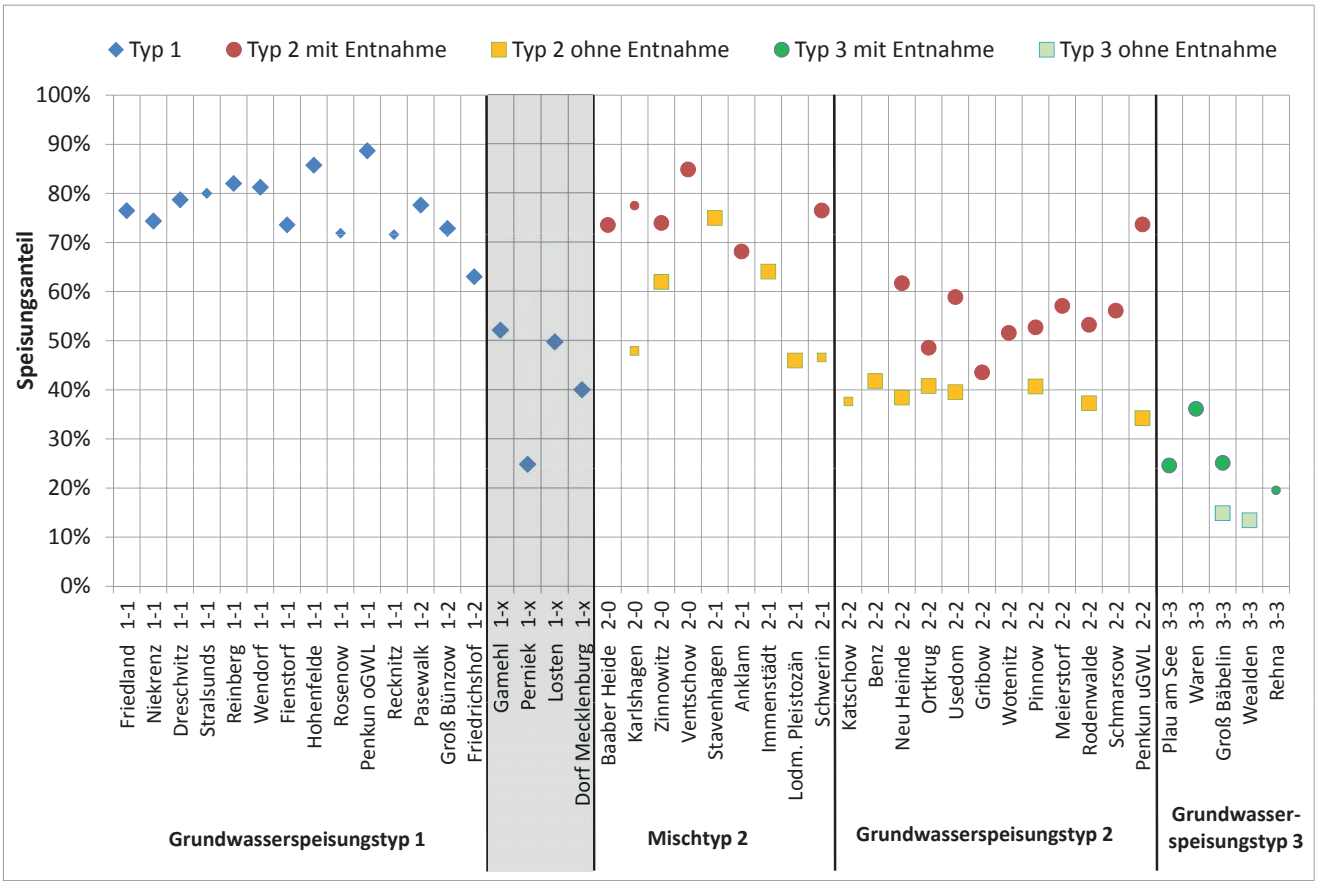


Abb. 6: Gruppierung der Speisungsanteile (große Symbole = hohe Zuverlässigkeit, kleine Symbole = mittlere Zuverlässigkeit)
Fig. 6: Classification of infiltration ratios

sie sich einer Verallgemeinerung und Regionalisierung. Benachbart liegt die Wasserfassung Friedrichshof, die ähnliche Verhältnisse aufweist, aber mit einem Speisungsanteil von 62 % noch dem Typ 1 zugeordnet wurde.

Beim Grundwasser**speisungstyp 2** (oberer Grundwasserleiter über genutztem Grundwasserleiter) erreicht nur ein deutlich geringerer Anteil des neugebildeten Grundwassers den genutzten Grundwasserleiter. Die Speisungsanteile liegen für natürliche Verhältnisse (ohne Entnahme) bei 40 % und erhöhen sich bei einer Druckentlastung im unteren Grundwasserleiter auf ca. 50–60 % der Grundwasserneubildung (entnahmeinduzierte Speisung).

Zum **Mischtyp 2** gehören sowohl Gebiete, bei denen der Zwischenstauer nicht flächenhaft verbreitet ist (Typ 2-0) als auch Gebiete, bei denen der obere Grundwasserleiter nicht flächenhaft ausgebildet ist (Typ 2-1). Der Mischtyp 2 ist aufgrund der uneinheitlichen Ausbildung der Hangendschichten durch eine große Spannweite der ermittelten Speisungsanteile gekennzeichnet. Die Speisungsanteile liegen zwischen 45 % und 85 %. Wenn aber im unteren Grundwasserleiter eine Entnahme erfolgt, vermindert sich die Spannweite und die Speisungsanteile liegen dann in der Größenordnung des Typs 1. Dadurch ist es bei der praktischen Anwendung (z. B. Abschätzung des gewinnbaren Grundwasserdargebotes einer Wasserfassung) in der Regel nicht erforderlich, den Mischtyp genau zuzuordnen.

Nur ein sehr geringer Anteil der Grundwasserneubildung von ca. 15 % erreicht natürlicherweise die sehr tief liegenden Grundwasserleiter des **Grundwasserspeisungstyps 3**. Bei einer Entnahme ist eine Erhöhung auf 20–25 % möglich; der höchste Speisungsanteil wurde für die Wasserfassung Waren mit 36 % berechnet.

Um den Speisungsanteil in Abhängigkeit von der Gebietscharakteristik noch genauer bestimmen zu können, wurden Korrelationen zur Vorflutdichte und zur Mächtigkeit der Hangendschichten bzw. des Zwischenstauers geprüft. Eindeutige, für eine Regionalisierung nutzbare Zusammenhänge zeigten sich aber nicht, so dass der Speisungsanteil allein durch die Zuordnung des Grundwasserleiters zum Grundwasserspeisungstyp abgeschätzt werden kann.

In der Tabelle 1 sind Speisungsanteile in Abhängigkeit von der Typisierung zusammengestellt. Wenn eine Grundwassernutzung erfolgt, entsprechen die Speisungsanteile des Mischtyps 2 näherungsweise denen des Typs 1. Die dritte Spalte der Tabelle enthält die Werte, die für die Abschätzung des gewinnbaren Grundwasserdargebotes empfohlen werden.

Grundwasserspeisungstyp	Schwankungsbreite	Empfehlung für die Abschätzung des gewinnbaren Dargebotes
Grundwasserspeisungstyp 1 (weitgehend unabhängig von der Entnahme)	70–90 %	**80 %**
Mischtyp 2	45–85 %	**80 %**
Grundwasserspeisungstyp 2		
ohne Entnahme	ca. 40 %	
mit Entnahme	meist 50–60 %	**50 %**
Grundwasserspeisungstyp 3		
ohne Entnahme	ca. 15 %	
mit Entnahme	20–35 %	**20 %**

Tab. 1: Speisungsanteile (respektive Reduktionsfaktoren) in Abhängigkeit von der Typisierung
Tab. 1: Infiltration ratios for different infiltration types – variation and recommended value

Zusammenfassend zeigt sich, dass sich die wirksame Grundwasserspeisung auf ca. 80 % der Grundwasserneubildung vermindert, wenn der Grundwasserleiter bedeckt ist und großflächig deutlich gespannte Strömungsverhältnisse aufweist (Grundwasserspeisungstyp 1). Auch die Mischtypen, bei denen örtlich begrenzt ein oberer Grundwasserleiter vorhanden ist und die Mächtigkeit des Hangend- bzw. Zwischenstauers stark schwankt, ordnen sich hier weitgehend ein.
Ist in einem Gebiet eine eindeutige Trennung in zwei Grundwasserleiter gegeben (Grundwasserspeisungstyp 2), erreichen nur durchschnittlich 50 % des neugebildeten Grundwassers den unteren Grundwasserleiter. Bei der Bearbeitung großräumiger Dargebotsuntersuchungen sollte diese Abminderung nur vorgenommen werden, wenn der untere Grundwasserleiter auch als Hauptgrundwasserleiter fungiert.
Bei kleinräumigen Dargebotsbetrachtungen für sehr tiefe Grundwasserleiter (Grundwasserspeisungstyp 3) sind 20 % der Grundwasserneubildung eine gute Schätzung für die wirksame Speisung.

Regionalisierung der Grundwasserspeisungstypen

Mit Hilfe der in der Tabelle 1 aufgeführten Speisungsanteile kann das Grundwasserdargebot für lokale Problemstellungen abgeschätzt werden. Um diese Ergebnisse auch für regionale oder landesweite Bearbeitungen zu verwenden, ist eine Regionalisierung erforderlich.
Gesucht wird die Speisung des Hauptgrundwasserleiters. Als Hauptgrundwasserleiter wird analog zu Hilgert & Hennig (2017) das obere, flächenhaft verbreitete, quartäre Grundwasserstockwerk definiert, über das der mengenmäßig größte Teil des unterirdischen Wassers abströmt. Er entspricht dem in Jordan & Weder (1995) beschriebenen „mittleren Stockwerk“, in dem – im Gegensatz zu den darüber lagernden Schichten – von einer „regionalen Grundwasserdynamik“ auszugehen ist.
Der Hauptgrundwasserleiter kann in Mecklenburg-Vorpommern als Grundwasserspeisungstyp 0 (ungespannter Grundwasserleiter), Grundwasserspeisungstyp 1 (gespannter Grundwasserleiter) und kleinräumig als Grundwasserspeisungstyp 2 ausgebildet sein. Er ist dann als Grundwasserspeisungstyp 2 anzusehen, wenn der darüber lagernde obere Grundwasserleiter lediglich lokal verbreitet ist und daher nicht als Hauptgrundwasserleiter fungiert. Tiefe Aquifere des Grundwasserspeisungstyps 3 sind nie als Hauptgrundwasserleiter im Sinne der o. g. Definition anzusehen, da sie von mehreren Grundwasserleiter-/Grundwasserhemmerabfolgen überlagert werden, in denen der überwiegende Teil der Grundwasserneubildung abströmt.
Um zu ermitteln, welcher Grundwasserspeisungstyp vorliegt, konnte auf den Landesbohrdatenspeicher Mecklenburg-Vorpommerns zurückgegriffen werden, der die Schichtansprachen von mehr als 95 000 Bohrungen umfasst. Der Algorithmus zur automatisierten Auswertung ist in Hennig & Hilgert (2013) erläutert. Die Schichtdaten werden dabei in die Kategorien Grundwasserleiter (Sande und Kiese) und Grundwasserhemmer (Geschiebemergel, Schluff, Ton) eingeteilt. Der Grundwasserleiter gilt als erreicht, wenn die Summe grundwasserleitender Schichten unterhalb des Grundwasserspiegels größer als 5 m ist und das Schichtpaket nicht durch eine grundwasserhemmende Schicht ≥ 1 m unterbrochen wird. An 32 588 Aufschlüssen endete die Bohrung unterhalb des regionalen Grundwasserdruckspiegels, so dass Aussagen zu den hydrogeologischen Verhältnissen möglich waren.
Das Ergebnis der Auswertung ist in der Abbildung 1 als Häufigkeitsverteilung dargestellt, die Abbildung 7 zeigt die räumliche Verteilung der Druckverhältnisse. Ungespannte Verhältnisse deuten auf den Grundwasserspeisungstyp 0, deutlich gespannte Verhältnisse (Druckspiegel > 10 m über Grundwasserleiteroberkante) auf den Grundwasserspeisungstyp 1 hin. Bei nur leicht gespannten Verhältnissen (Druckspiegel > 0–10 m über Grundwasserleiteroberkante) wird die Zuordnung als nicht eindeutig eingeschätzt.
Der Grundwasserspeisungstyp 2 (lokaler oberer Grundwasserleiter über Hauptgrundwasserleiter) kann anhand der automatisierten Auswertung nicht abgeleitet werden. Lokale obere Grundwasserleiter, die ein vom Hauptgrundwasserleiter ab-

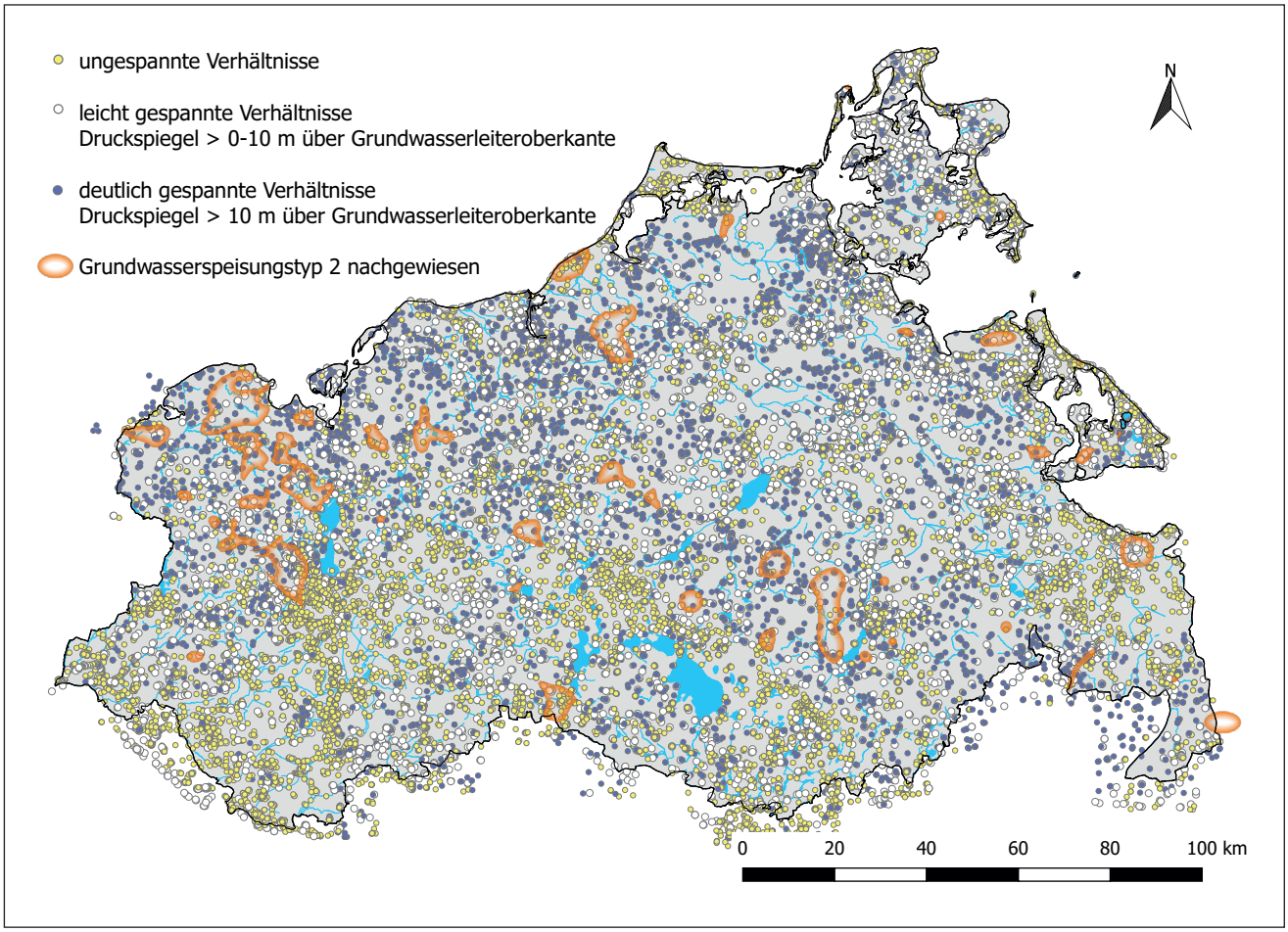


Abb. 7: Hydrogeologische Druckverhältnisse an den Bohrungen und identifizierte Verbreitung des Grundwasserspeisungstyps 2
Fig. 7: Recorded groundwater potential of drillings & incidence of infiltration type 2

weichendes Druckniveau aufweisen, wurden im Rahmen der Modellierung des landesweiten Grundwasserfließgeschehens identifiziert und kartiert (Hilgert & Hennig 2017). Zusätzlich sind elf der in der vorliegenden Untersuchung ausgewerteten Typ 2-Gebiete als Hauptgrundwasserleiter einzustufen. Die Bereiche, in denen der Hauptgrundwasserleiter auf der Basis des beschriebenen Kenntnisstandes als Grundwasserspeisungstyp 2 anzusehen ist, sind ebenfalls in der Abbildung 7 dargestellt. Es ist davon auszugehen, dass noch weitere, derzeit nicht bekannte Gebiete Mecklenburg-Vorpommerns dem Grundwasserspeisungstyp 2 zuzuordnen wären. Da diese Bereiche entsprechend ihrer Charakteristik lokal begrenzt sind, hat diese verbleibende Unschärfe aber keinen entscheidenden Einfluss auf das regionale Speisungsverhalten.

Die an den einzelnen Bohrungen ermittelten Speisungsverhältnisse mussten landesweit regionalisiert werden. Eine Möglichkeit zur Interpolation qualitativer Merkmale ist das Indikatorkriging, das z. B. in Schafmeister (1999) umfassend beschrieben ist. Beim Indikatorkriging wird die Interpolation für jede Eigenschaft (hier: Grundwasserspeisungstypen 0, 1, 2) separat durchgeführt. Die zu interpolierende Indikatorvariable nimmt den Wert 1 an, wenn der Zustand am Ort angetroffen wird (z. B. Grundwasserspeisungstyp 0 an der Bohrung nachgewiesen) und den Wert 0, wenn die Eigenschaft ausgeschlossen werden kann. Zwischen den bekannten Bohrungen werden die Indikatorvariablen geostatistisch interpoliert (Kriging nach Variogrammanalyse, Beschreibung z. B. in Schafmeister 1999). Das Interpolationsergebnis mit Werten zwischen 0 und 1 kann als Wahrscheinlichkeit aufgefasst werden, dass der jeweilige Typ am betrachteten Ort anzutreffen ist. Abschließend wird für jeden Ort diejenige Eigenschaft gewählt, für die die höchste Wahrscheinlichkeit geschätzt wurde.
In der Tabelle 2 ist die Charakterisierung der Indikatorvariablen dokumentiert. Das Ergebnis des Indikatorkrigings zeigt die Abbildung 8. Die dargestellte räumliche Verteilung der Grundwasserspeisungstypen spiegelt auch die eiszeitlichen Ablagerungsprozesse wider – ungespannte Strömungsverhältnisse (und damit der Grundwasserspeisungstyp 0) sind in den Sandergebieten Südmecklenburgs und der Ueckermünder Heide weit verbreitet; im Bereich der Grundmoränen dominiert hingegen der Grundwasserspeisungstyp 1.
Auf der Basis dieser regionalisierten Speisungsanteile wurde das landesweite geohydraulische Modell des Hauptgrundwasserleiters (Hilgert & Hennig 2017) nachkalibriert, was die Voraussetzung für Szenariorechnungen zum Grundwasserdargebot war.

Grundwasserspeisungstyp 2	Bohrungen in Gebieten mit lokalem oberen Grundwasserleiter nach HILGERT & HENNIG (2017) und Bilanzgebiete Typ 2	= 1
	Bohrungen mit einem Druckspiegel > 10 m außerhalb o. g. Gebiete	= 0
Grundwasserspeisungstyp 1	Bohrungen mit einem Druckspiegel > 10 m	= 1
	Bohrungen mit ungespannten Verhältnissen	= 0
Grundwasserspeisungstyp 0	Bohrungen mit ungespannten Verhältnissen außerhalb Typ 2	= 1
	Bohrungen mit einem Druckspiegel > 10 m	= 0

Tab. 2: Definition der Indikatorvariablen
Tab. 2: Definition of Indicator variables

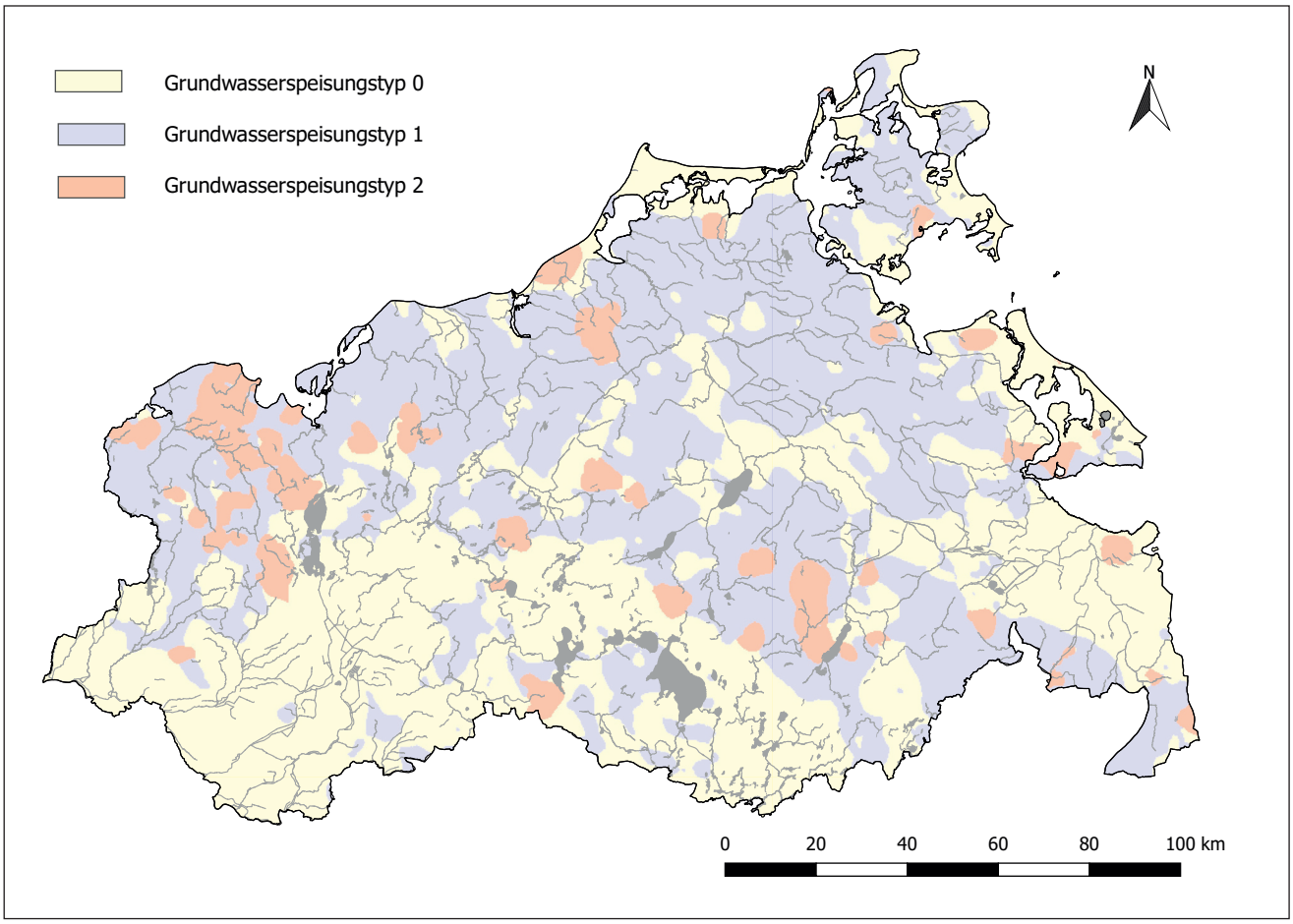


Abb. 8: Regionale Verbreitung der Grundwasserspeisungstypen
Fig. 8: Spatial distribution of infiltration types

Zusammenfassung

Bei unbedeckten Grundwasserleitern erreicht in der Regel das gesamte neugebildete Grundwasser den Aquifer. Im Falle gespannter Grundwasserleiter ist hingegen zu beachten, dass möglicherweise ein Teil des neugebildeten Grundwassers bereits oberflächennah, innerhalb von Sandlagen im Hangendstauer oder ggf. in überlagernden Grundwasserleitern abfließt und in die Vorflut entlastet. Die Speisung des betrachteten Grundwasserleiters ist dann geringer als die Grundwasserneubildung.

Realitätsnahe Speisungsraten können über geohydraulische Modelle berechnet werden, wenn diese auch die Strömungsprozesse in den Hangendschichten berücksichtigen. Um für Erstbewertungen des Grundwasserdargebotes und für großräumige Untersuchungen Speisungsraten begründet schätzen zu können, sind existierende geohydraulische Modellierungen in Mecklenburg-Vorpommern ausgewertet worden. Das Ziel war es, den Anteil der Grundwasserneubildung zu ermitteln, der in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Verhältnissen dem genutzten Grundwasserleiter zusickert (Speisungsanteil). Für insgesamt 44 Gebiete war es möglich, den Speisungsanteil zu

bestimmen. Die Gebiete wurden unterschiedlichen Grundwasserspeisungstypen zugeordnet und anschließend für Mecklenburg-Vorpommern regionalisiert. Es wird davon ausgegangen, dass die ermittelten Speisungsanteile auch für die benachbarten Bundesländer eine gute Schätzung darstellen.

Summary

In unconfined aquifers the entire groundwater recharge derived from precipitation infiltrates into the aquifer. However, in the case of confined aquifers near-surface preferential flow has to be considered. Potentially a part of the groundwater recharge reaches receiving waters along localised overlying aquifers or along higher-conductivity horizons within the confining layers.
Thereby the groundwater availability of considered aquifer will be lower than the groundwater recharge.
Realistic groundwater availability can be calculated using geohydraulic models, which take into account the flow processes in the overlying horizons. For large-scale investigations or for initial assessments of groundwater availability such detailed geohydraulic calculations are too laborious. Therefore, existing geohydraulic modeling in Mecklenburg-Western Pomerania has been evaluated in order to determine the proportion of groundwater recharge that infiltrates into the used aquifer depending on the hydrogeological conditions. For a total of 44 areas it was possible to determine this proportion. The areas were assigned to different types of infiltration and then regionalised for Mecklenburg-Western Pomerania. It is assumed that the results also represent a good estimate for the neighboring federal states.

Danksagung

Das Projekt wurde im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern bearbeitet. Wir danken besonders Frau Dr. Schwerdtfeger und Frau Handke für ihre Unterstützung und die anregenden Fachgespräche.

Literatur

ATV-DVWK (Hrsg.; 2001): ATV-DVWK-M 504: Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. – Merkblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. H. M 504, 144 S., Bonn (Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser)

Hennig H. & Hilgert T. (2013): Bewertung der Grundwassergeschütztheit anhand der Verweilzeit in der Grundwasserüberdeckung. – Neubrandenburger Geologische Beiträge **12**, S. 3–18, DOI 10.3285/ngb.12

Hennig, H. & Hilgert, T. (2007): Dränabflüsse – Der Schlüssel zur Wasserbilanzierung im nordostdeutschen Tiefland. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung **51**, 6, S. 248–257

Hennig, H., Hilgert, T., Schwerdtfeger, B., Handke, H. & G. Lemke (2014): Grundwasserressourcen Mecklenburg-Vorpommern - Erläuterung zur Karte. – https://www.lung.mv-regierung.de/dateien/erlaeuterung_zur_karte.pdf (letzter Zugriff am 26.02.2018)

Hilgert, T. & Hennig, H. (2017): Grundwasserfließgeschehen Mecklenburg-Vorpommerns - Geohydraulische Modellierung mit Detrended Kriging. – Grundwasser 22, 1, S. 17–29, DOI 10.1007/s00767-016-0348-6

Jordan, H. & Weder, H.-J. (1995): Hydrogeologie – Grundlagen und Methoden, Regionale Hydrogeologie: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. – 603 S., Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag)

Schafmeister, M.-T. (1999): Geostatistik für die hydrogeologische Praxis. – 172 S.; Berlin (Springer Verlag)

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Hydrol. Heiko Hennig
UmweltPlan GmbH Stralsund
Tribseer Damm 2
18437 Stralsund
hh@umweltplan.de

Dipl.-Ing. Toralf Hilgert
Hydro-Geologie-Nord GbR
Hagenower Straße 73
19061 Schwerin
t.hilgert@h-g-nord.de