

Ermittlung der Verweilzeiten des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung nach der DIN 19732 für Mecklenburg-Vorpommern

Stephan Hannappel, Sarah Zeilfelder, Gabriele Lemke & Beate Schwerdtfeger

Zusammenfassung

Für die gesamte mit Lockergesteinen bedeckte Landesfläche von Mecklenburg-Vorpommern wurden unter Nutzung vorhandener digitaler Daten sowie darauf basierender Berechnungen die Verweilzeiten des Sickerwassers in der gesamten ungesättigten Zone nach einem in der DIN 19732 aufgeführten Algorithmus ermittelt. Eingangsdaten sind die Grundwasserneubildung, die Feldkapazität und der Flurabstand des Grundwassers. Diese erstmals in einem Bundesland flächenhaft unter Nutzung des vorhandenen - u. a. in Bohrungsdatenbanken und Kartenwerken abgelegten - hydrogeologischen Kenntnisstandes ermittelten Daten werden digital für zukünftige Modellierungen des Nährstoffhaushaltes im Untergrund mit dem Ziel der Identifizierung von Eintragspfaden und Fließwegen verwendet. Die Verweilzeiten des Sickerwassers unterscheiden sich aufgrund der Lagerungsbedingungen des Grundwassers in den eiszeitlich geprägten Gebieten mit kleinräumigen Inhomogenitäten erheblich: sie reichen von wenigen Wochen bzw. Monaten in Entlastungsgebieten mit sehr geringen Flurabständen bis zu mehr als 100 Jahren in Grundmoränengebieten mit mächtigen bindigen Überlagerungen. Damit sind sie für die angestrebte Nutzung eine wertvolle Informationsquelle.

1 Einleitung

Die Verweilzeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone werden als Input-Daten für die Modellierung des Stoffhaushaltes im System Boden - ungesättigte Zone - Grundwasser mit einer auch in anderen Regionen Norddeutschlands erprobten Methode (WENDLAND et al. 2010) benötigt. Sie wurden daher im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) des Landes Mecklenburg-Vorpommern mit dem Algorithmus der DIN 19732 (1997) im Sinne der „intrinsic“ Empfindlichkeit des Grundwassers (HANNAPPEL & VOIGT 1999) berechnet.

Unter diesem Begriff werden die ausschließlich auf die natürliche Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers bezogenen Eigenschaften verstanden. Die intrinsische Empfindlichkeit ist das „worst case scenario“ eines Schadstoffeintrages in die ungesättigte Zone, bei dem keine Wechselwirkung des Schadstoffes mit den Medien in der ungesättigten Zone stattfindet. Sie kann auf Basis der Verweilzeit des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung eingeschätzt werden. Die Methode zur Berechnung dieser Verweilzeiten nach der DIN 19732 basiert ausschließlich auf Daten, die in den Beständen der Staatlichen Umweltverwaltungen bzw. Geologischen Dienste in Deutschland - so auch im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern - vorhanden sind bzw. aus ihnen abgeleitet wurden. Große Bedeutung kommt dabei den Bohrungsdaten sowie den Flurabständen bei.

Die Methode wurde bereits in anderen Regionen Norddeutschlands erfolgreich angewendet (HEINKELE et al. 2001). Die resultierenden Verweilzeiten sind gut geeignet, die im eiszeitlich überprägten Untergrund des Landes Mecklenburg-Vorpommern stattfindenden Prozesse in z. T. sehr langen Zeiträumen darzustellen.

2 Methodik zur Ermittlung der Verweilzeiten nach der DIN 19732

In die Berechnungen nach der DIN 19732 gehen folgende Parameter ein:

- die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung bzw. der Flurabstand des Grundwassers im oberen, großräumig zusammenhängenden und wasserwirtschaftlich genutzten Hauptgrundwasserleiter,
- die Feldkapazität der gesamten Grundwasserüberdeckung,
- die flächendifferenzierte Grundwasserneubildungsrate.

Die Verweilzeit des Sickerwassers dann nach folgender Formel berechnet:

$$t_s = \sum M_i * FK_i / GWNB = (M_1 * FK_1 + M_2 * FK_2 + \dots + M_n * FK_n) / GWNB$$

mit:

GWNB Grundwasserneubildungsrate in $\text{mm} * \text{a}^{-1}$

FK Feldkapazität der gesamten Grundwasserüberdeckung in $\text{mm} * \text{dm}^{-1}$

M Mächtigkeit der gesamten Grundwasserüberdeckung in dm

Der durch hydrodynamische Dispersion verursachte voraus- oder nacheilende Stofffluss wird nicht berechnet. Bevorzugte Fließwege (z. B. Makroporenfluss) können je nach Aufenthaltsort des Stoffes die Verlagerungsgeschwindigkeit erhöhen (wenn der Stoff direkt an der Oberfläche von Poren vorliegt) oder verringern (wenn der Stoff in der Bodenmatrix vorliegt).

Der Berechnung der Verweilzeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone kommt im quartären Lockergestein besonders Gewicht zu, da aufgrund der unterschiedlichen Lagerungsverhältnisse sehr große Differenzen auftreten können.

Prozesse des Makroporenflusses und des preferential flow werden bei der Anwendung der DIN 19732 nicht berücksichtigt. Diese Prozesse spielen vor allem in bindigen, quellfähigen und gefügereichen Böden aus Festgesteinen im Mittelgebirgsbereich eine Rolle.

In der Reihenfolge Feldkapazität → Grundwasserneubildung → Flurabstand nimmt die Bedeutung der Faktoren bei der Berechnung der Verweilzeiten zu.

3 Methodisches Vorgehen und verwendete Daten

Folgende Eingangsdaten werden zur Berechnung der Verweilzeiten benötigt und wurden vom LUNG digital zur Verfügung gestellt:

- Digitales Geländehöhenmodell DGM 25,
- Daten zu den oberirdischen Fließ- und Standgewässer,
- Daten zur Grundwasseroberfläche in ungespannten Gebieten,
- Daten der Hydrogeologischen Karte 1 : 50 000 (HK 50, Voigt 1987),
- Schichtbezogene Daten der Landesbohrdatenbank des LUNG,
- Feldkapazitäten der Bodenzone,
- Grundwasserneubildungsraten (HGN 2008).

Abbildung 1 zeigt die flächenhafte Verteilung der zuletzt aufgeführten Daten. Berechnet wurden sie mit dem BAGLUVA-Verfahren unter Anwendung des ATV-Merkblattes M 504 (HGN 2008). Es handelt sich um langjährige Mittelwerte unter Berücksichtigung des direkten Oberflächenabflusses. Entsprechend der klimatischen Einordnung des Landes mit niedrigen Niederschlags- und hohen Verdunstungsraten sind die Neubildungsraten im überregionalen Vergleich mit anderen Bundesländern in Deutschland niedrig, lokal besteht sogar in einigen Teilbereichen des Landes im Osten Grundwasserzehrung.

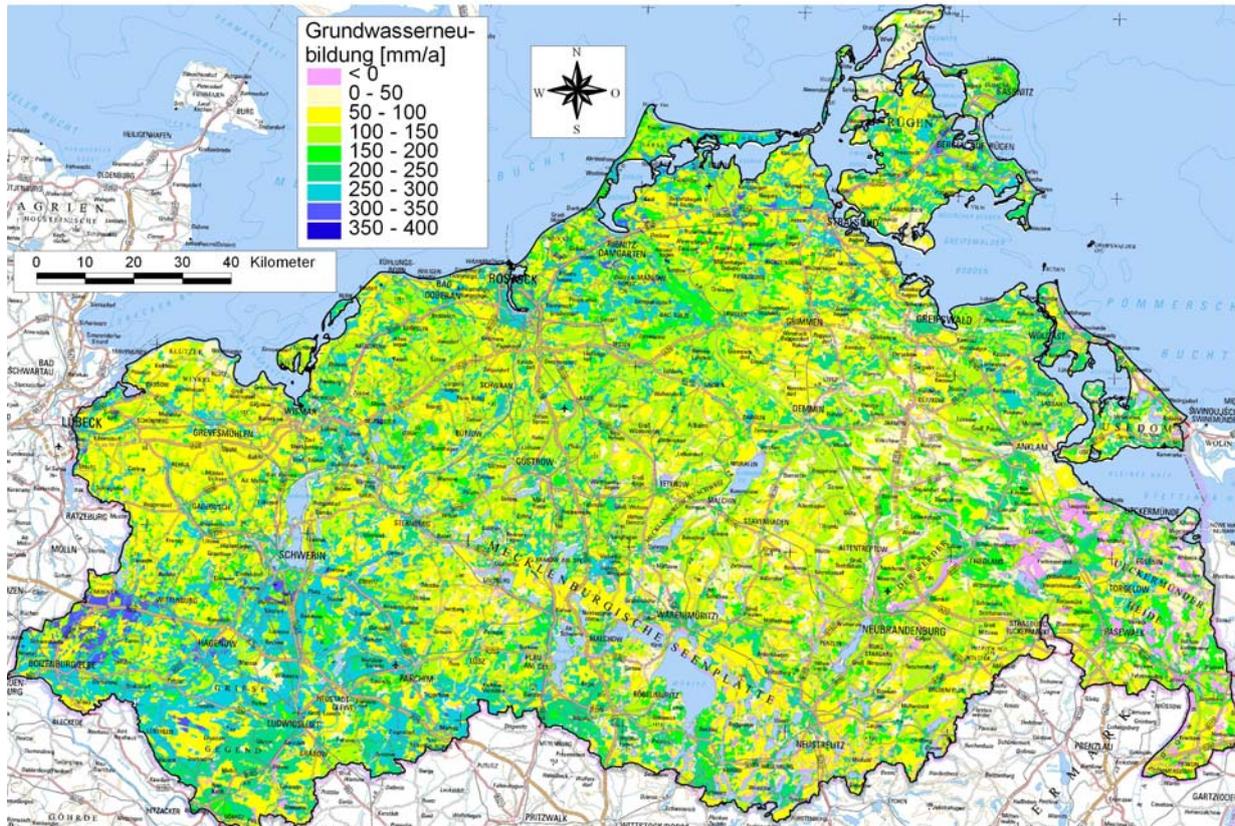


Abb. 1: Mittlere langjährige Grundwasserneubildungsraten in Mecklenburg-Vorpommern

4 Berechnungen der notwendigen Teildaten

4.1 Flurabstand des oberen großräumig zusammenhängenden Grundwassers

Hierfür wurde unterschieden zwischen Gebieten mit ungespanntem und gespanntem Grundwasser nach den digital vorliegenden Daten der Hydrogeologischen Karte 1 : 50 000 (Voigt 1987). Bei ungespanntem Grundwasser entspricht der Flurabstand der lotrechten Differenz zwischen der Gelände- und der Grundwasseroberfläche. Da diese Daten aktuell und landesweit in hoher Qualität zur Verfügung standen, konnte der Flurabstand im GIS automatisiert errechnet werden.

In den gespannten Gebieten hingegen musste zur Ermittlung des Flurabstandes zunächst die Unterkante der - den Grundwasserleiter überlagernden - bindigen Deckschicht ermittelt werden. Dafür wurden insgesamt 22.139 Bohrungen mit 166.107 vertikal definierten Schichtdatensätzen bis 50 Meter Tiefe verwendet, die jeweils lithologische und genetische Informationen enthalten. Mit diesen Daten - und unter Hinzuziehung kartenbasierter Zusatzinformationen aus der HK 50 - wurde pro Bohrung der Flurabstand in Meter unter Gelände festgelegt. Unterschieden werden musste hierbei wiederum zwischen gespannten und ungespannten Grundwässern, da unter den glaziären Bedingungen des Landes auch ungespanntes Grundwasser unter einer bindigen Bedeckung vorkommen können. Abbildung 2 zeigt die Häufigkeitsverteilungen mit deutlich niedrigeren Werten von ungespannten Grundwässern, da hier die Mächtigkeit der bindigen Deckschichten im Hangenden geringer ist. Diese Daten wurden anschließend einer Variogrammanalyse (s. Abbildung 3) unterzogen und mit Kriging in das regelmäßige 100 x 100-Meter- Berechnungsraster überführt.

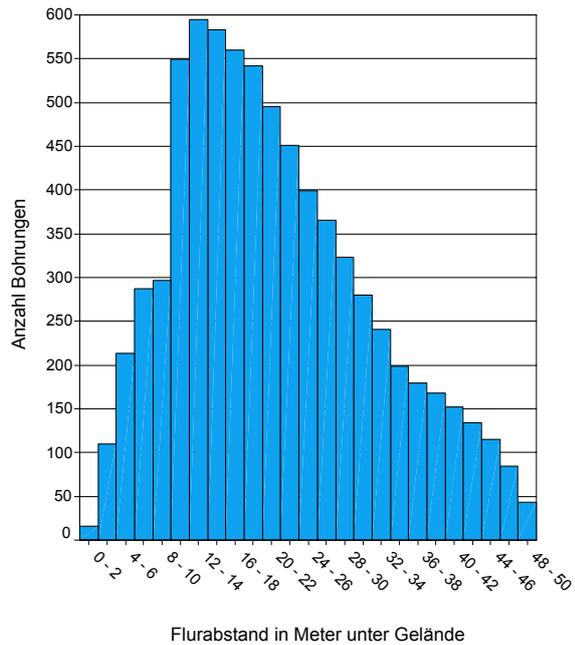
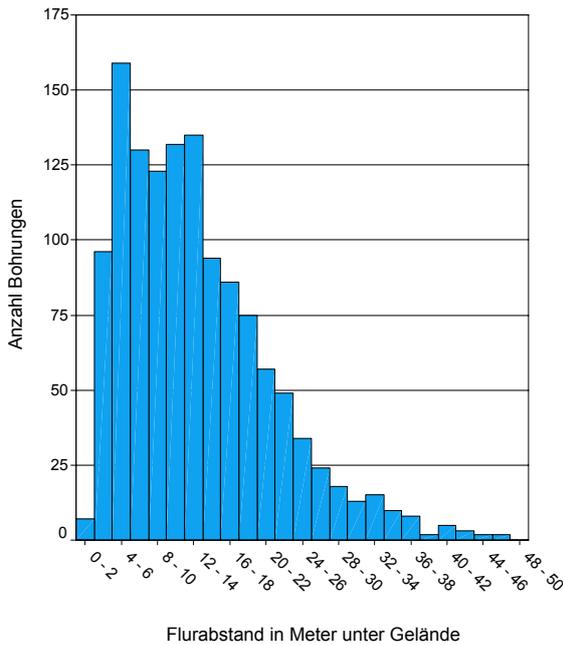


Abb. 2: Flurabstände von ungespannten (links) und gespannten (rechts) Grundwässern unter jeweils bindiger Grundwasserüberdeckung

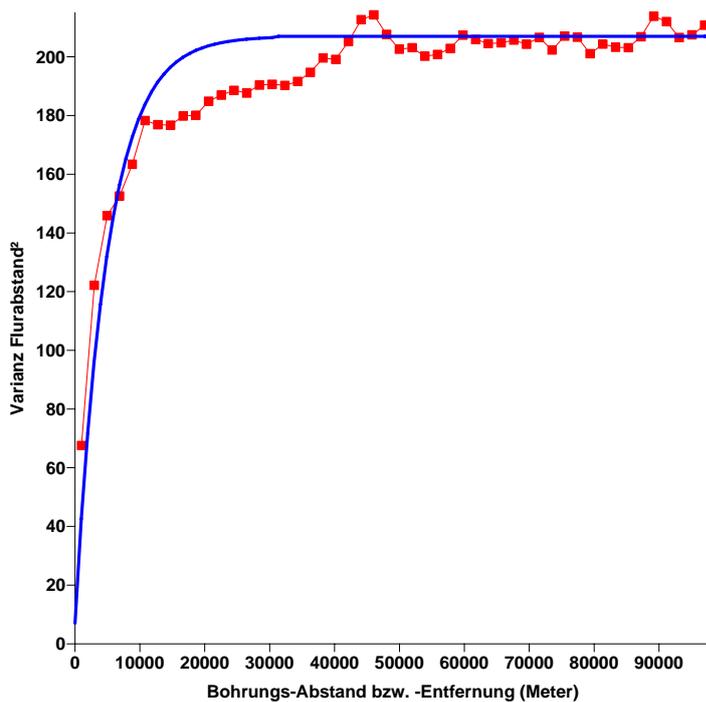


Abb. 3: Variogramm der Regionalisierung der Bohrungsbezogen und mächtigkeitsgewichtet für die ungesättigte Zone unterhalb des Bodens aufsummierten FK-Werte

Zusammen mit den Flurabständen in den Gebieten mit ungespanntem Grundwasser sind diese Berechnungsergebnisse in Abbildung 4 dargestellt. Erkennbar sind die großräumigen hydrogeologischen Lagerungsverhältnisse des Landes mit den zusammenhängenden Geschiebemergelhochflächen (Flurabstände zumeist > 10 Meter) sowie die Niederungen mit den Entlastungsgebieten. Hier befindet sich das Grundwasser oberflächennah in weniger als 2 Meter Tiefe.

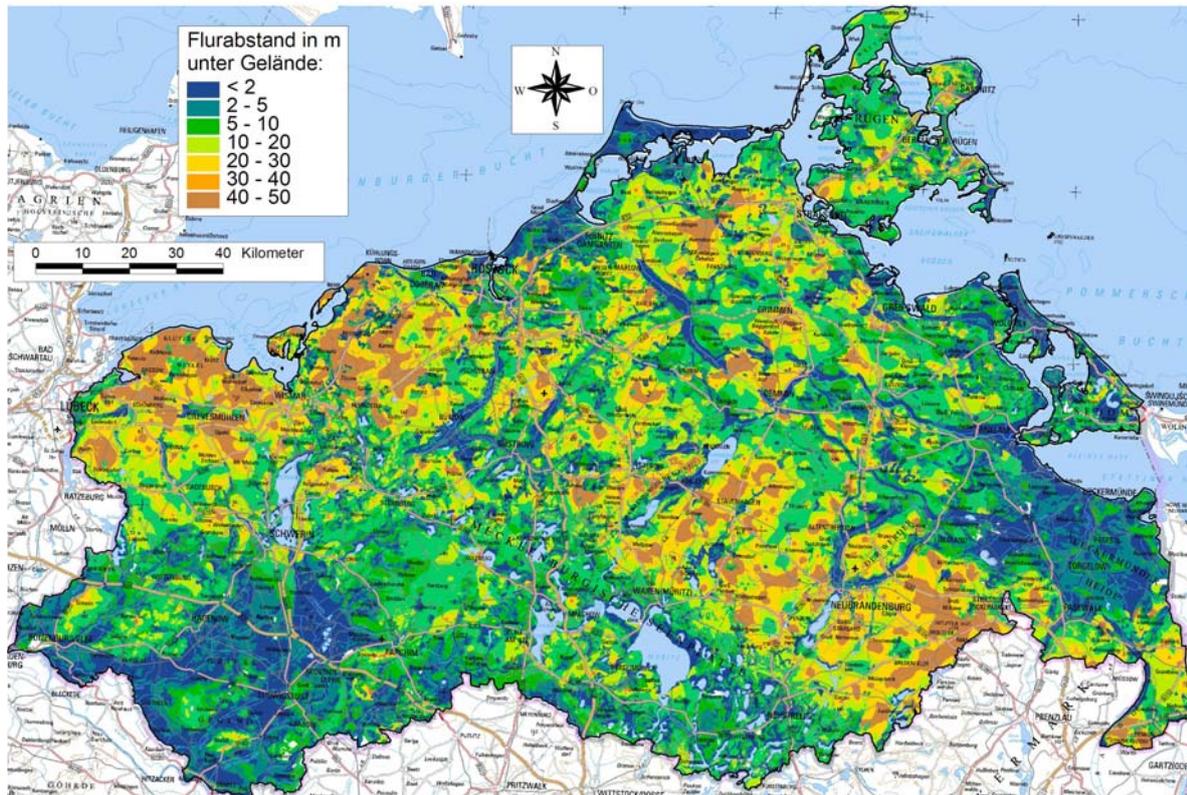


Abb. 4: Flurabstand des oberen, großräumig zusammenhängenden Grundwasserleiters

4.2 Feldkapazitäten in der gesamten ungesättigten Zone

Die Feldkapazitäten wurden ebenfalls anhand der Schichtbeschreibungen der Bohrungsdaten und unter Verwendung von in der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (2005) aufgeführten tabellarischen Zuordnungen ermittelt.

Für den Bereich des Bodens bis 2 Meter Tiefe wurden vom LUNG digitale Daten zu den summarischen Feldkapazitäten übermittelt, die anhand hochaufgelöster bodenkundlicher Kartenwerke und ebenfalls unter Nutzung der KA 5 erstellt worden waren. Sie wurden zu den Werten der darunter liegenden ungesättigten Zone bis zur Grundwasseroberfläche addiert. Abbildung 5 zeigt die resultierenden Werte für die gesamte ungesättigte Zone.

Deutlich erkennbar sind vergleichbare Strukturen wie bei den Flurabständen, da in den Grund- und Endmoränengebieten des Landes zugleich hohe Flurabstände und hohe Feldkapazitäten aufgrund der überwiegend bindigen Struktur der Sedimente vorliegen.

5 Ermittlung der Verweilzeiten der Grundwasserüberdeckung

Nach der in Kap. 2 aufgeführten Formel wurden abschließend die Verweilzeiten des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung berechnet. Abbildung 6 zeigt sie flächenhaft in einer siebenfach gewählten Intervallskalierung. Die Daten sind als GIS-lesbares Grid digital abgelegt und können in beliebiger Skalierung dargestellt werden. Die Karte zeigt sehr große Unterschiede der Verweilzeiten des Sickerwassers. In den Niederungen betragen sie oft nur wenige Jahre, manchmal auch nur wenige Wochen bis Monate. Hiervon betroffen ist z. B. der Südwesten des Landes mit überwiegend sandigen Substraten.

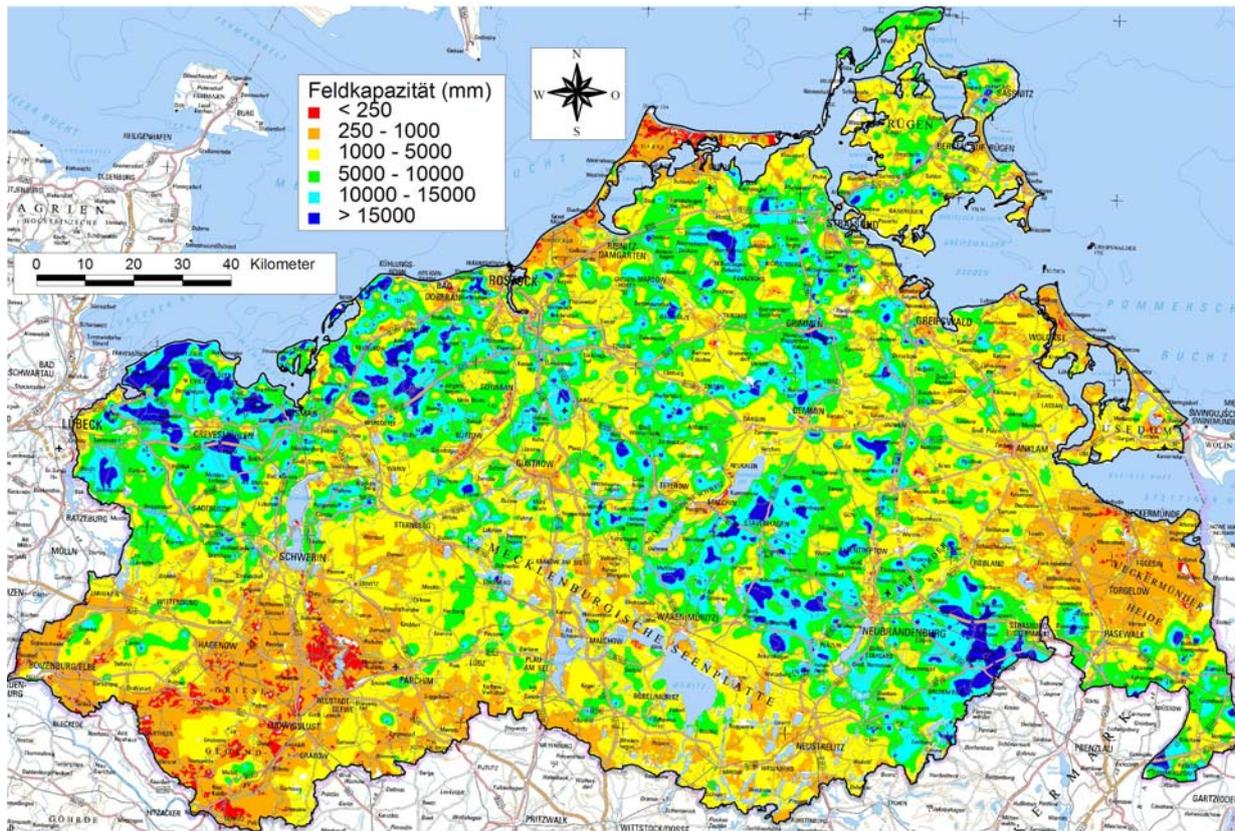


Abb. 5: Summarische Feldkapazitäten der gesamten Grundwasserüberdeckung von der Geländeoberfläche bis zur Grundwasseroberfläche inklusive des Bodens

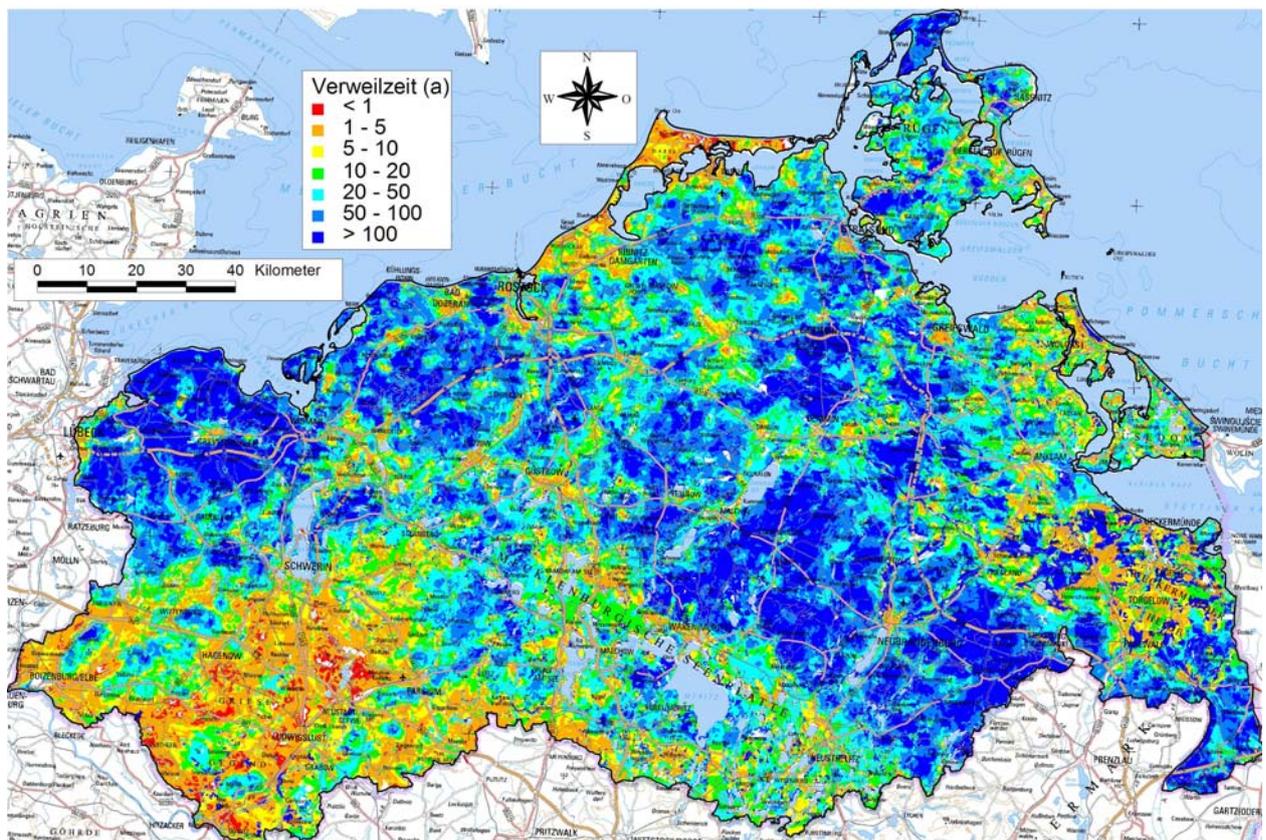


Abb. 6: Verweilzeiten des Sickerwassers in der gesamten Grundwasserüberdeckung

und entsprechend niedrigen Feldkapazitäten, hohen Neubildungsraten sowie geringen Flurabständen. In Entlastungsgebieten mit primär anmoorigen Auflagen hingegen können die Verweilzeiten trotz niedriger Flurabstände aufgrund der dort höheren Feldkapazitäten auch höher liegen, das betrifft z. B. die Ueckerländer Heide im Osten des Landes an der Grenze zu Polen, wo auch die Niederschläge und daher die Neubildungsraten des Grundwassers entsprechend gering sind.

Im deutlichen Gegensatz dazu stehen die sich von Nordwest nach Südost - entsprechend der Vereisungsvorstöße bzw. Endmoränenlagen - erstreckenden Hochflächengebiete mit zumeist lehmigen Substraten und hohen Flurabständen. Hier liegen die Verweilzeiten des Sickerwassers in großen Landesteilen bei bis zu 100 Jahren und mehr, z. B. südöstlich von Neubrandenburg im Südosten des Landes im Bereich der Feldberger Seenlandschaft an der Landesgrenze zu Brandenburg.

6 Literatur

DIN 19732 (1997): Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtsorbierten Stoffen.- Normenausschuss Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung, Juni 1997, Beuth Verlag, Berlin.

Hannappel, S. & H. - J. Voigt (1999): Vulnerability maps as bricks for groundwater protection - experiences in East Germany.- Proc. of the XXIX IAH Congress, 59-65, Bratislava.

Heinkele, T., Hannappel, S., Jahnke, C., Voigt, H.-J. & E. Donat (2001): Charakterisierung der Empfindlichkeit von Grundwasserkörpern.- Hrsg.: Umweltbundesamt, FB 29922278, 118 S., Berlin.

HGN (2008): Ergebnisbericht Ermittlung der Grundwasserneubildung Mecklenburg-Vorpommerns, Stand 2007.- Gutachten der HGN Hydrogeologie GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Schwerin, 23.01.2008 (unveröff).

KA 5 (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung.- Hrsg.: ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 5. Auflage, 438 S., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Voigt, H.-J. (1987): Hydrogeologisches Karte der Deutschen Demokratischen Republik 1 : 50 000, Nutzerrichtlinie Grundkarte, Karte der hydrogeologischen Kennwerte und Karte der Grundwassergefährdung. - Hrsg.: Zentrales Geologisches Institut, 16 S., Berlin.

Wendland, F., Behrendt, H., Hirt, U., Kreins, P., Kuhn, U., Kuhr, P., Kunkel, R. & B. Tetzlaff (2010): Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen zur Reduktion der Stickstoffbelastung von Grundwasser und Oberflächengewässer in der Flussgebietseinheit Weser.- Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 4, 54. Jg, 231-244, Koblenz.

Hannappel, Stephan, Dr., HYDOR Consult GmbH, Am Borsigturm 40, D-13507 Berlin, 0049-30-43726730, hannappel@hydor.de

Zeilfelder, Sarah, HYDOR Consult GmbH, Am Borsigturm 40, D-13507 Berlin, 0049-30-43726730, zeilfelder@hydor.de

Lemke, Gabriele, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Goldberger Str. 12, 18273 Güstrow, 0049-3843-777331, Gabriele.Lemke@lung.mv-regierung.de

Schwerdtfeger, Beate, Dr., Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Goldberger Str. 12, 18273 Güstrow, 0049-3843-777450, Beate.Schwerdtfeger@lung.mv-regierung.de