

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	18 (2011), 1/2	S. 93 – 105	6 Abb., 2 Tab., 12 Lit.
------------------------------	---------	----------------	-------------	-------------------------

Ermittlung grundwasserbeeinflusster oberirdischer Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern

Identification of groundwater influenced waterbodies in Mecklenburg-Western Pomerania

STEPHAN HANNAPPEL, BEATE SCHWERTFEGER & FRANKA KOCH

1. Einführung und Zielstellung

Für die gesamte Landesfläche von Mecklenburg-Vorpommern wurden oberirdische Gewässer mit einem ausgeprägten Grundwasserzustrom identifiziert (HYDOR 2010), um dort Maßnahmen zur Reduzierung des diffusen Nährstoffeintrages aus der landwirtschaftlichen Nutzung vornehmen zu können. Diese Reduzierung ist notwendig, da die Ergebnisse der Gewässerüberwachung zeigen, dass trotz einiger positiver Entwicklungen anhaltende Defizite der Gewässergüte bestehen, insbesondere in Bezug auf Belastungen mit Nitratstickstoff. Die meisten Fließgewässer des Landes sind in Abhängigkeit von den hydrologischen Verhältnissen aufgrund der Nitrat-Konzentrationen den LAWA-Güteklassen II oder III (also zwischen 2,5 und 10 mg/l NO₃-N, LAWA 1998) zuzuordnen, d. h. es überwiegen nach wie vor Gewässer mit deutlicher und erhöhter Nitratbelastung ohne erkennbar veränderliche Trends.

Die geohydraulischen Voraussetzungen der Interaktion zwischen oberirdischen Gewässern und Grundwasser sind im norddeutschen Lockergesteinsbereich flächendeckend vorhanden. Es wurden die oberen, großräumig zusammenhängenden und zumeist auch wasserwirtschaftlich nutzbaren Grundwasserleiter als Bezugshorizont verwendet. Saisonal wasserführende Grundwasserleiter (sogenanntes schwebendes Grundwasser) oberhalb bindiger Bildungen wurden nicht berücksichtigt, da aus ihnen heraus kein dauerhafter Zustrom zu den oberirdischen Gewässern erfolgen kann.

Als Grundlage für die Festlegung von Zielgebieten für Maßnahmen zur Minderung der diffusen Nährstoffbelastungen wurden daher durch das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern zunächst räumliche Belastungsschwerpunkte für Grundwasser (HYDOR 2008) und oberirdische Gewässer (BIOTA 2009) ermittelt. Im Zuge der Maßnahmenplanung für die oberirdischen Gewässer zur Minderung der diffusen Nährstoffbelastungen sollen zukünftig schwerpunktmäßig die Eintragspfade Grundwasser und Dränung untersucht werden. Als Ergänzung zur Ermittlung der Dränflächen

war daher die flächenhafte Ausweisung der Eintragspfade vom Grundwasser in oberirdische Gewässer erforderlich, hier vornehmlich in Fließgewässereinzugsgebieten, die einen ausgeprägten Grundwasserzustrom aufweisen. Für die Ableitung von Maßnahmen muss daher bekannt sein, in welchen Gebieten oberirdische Gewässer grundwasserbeeinflusst sind.

2. Methodik zur Ausweisung grundwasserbeeinflusster oberirdischer Gewässer

Oberirdische Gewässer sind aufgrund der Lagerungsbedingungen des Untergrundes im norddeutschen Tiefland im Uferbereich fast immer im hydraulischen Kontakt mit dem Grundwasser. Nur in Ausnahmefällen besteht der Kontakt nicht, z. B. wenn das Gewässer ausschließlich und über längere Strecken über schlecht durchlässige Schichten (Grundwasserhemmer) verläuft. Normalerweise findet eine Exfiltration von Grundwasser in das Oberflächengewässer statt, dem Fließ- oder Standgewässer kommt dann eine Vorflutfunktion zu. Der umgekehrte Vorgang, also die Infiltration von Oberflächen- in Grundwasser kommt nur in Ausnahmefällen, z. B. zu Hochwasserereignissen vor. Ein Spezialfall davon ist die künstlich induzierte sogenannte Uferfiltration durch die ufernahe Absenkung des Grundwasserspiegels, zumeist infolge von Entnahmen durch leistungsstarke Brunnen für die öffentliche Trinkwasserversorgung. Allen hydraulischen Fällen gemein ist der vorhandene hydraulische Kontakt an der Uferlinie, dem Kontaktsaum. Dieser ist der Ort der Entlastung oder das sogenannte Entlastungsgebiet des Grundwassers, da hier der Übergang des Wassers vom unterirdischen in den oberirdischen Bereich stattfindet.

Geohydraulisch dokumentiert sich dies durch abbiegende Potentiallinien. Das Entlastungsgebiet ist derjenige Bereich des Grundwasserkörpers, in dem die Potentiallinien des Grundwassers entgegen der Schwerkraft gerichtet sind, das Grundwasser also an der Erdoberfläche austreten kann (z. B. in Auen) und wo die mittlere Verdunstungshöhe aus dem Grundwasser größer als die mittlere Neubildungsra-

te ist. Der hydraulische Kontakt nimmt mit zunehmender Entfernung vom oberirdischen Gewässer ab. Zur Breite des „Kontaktsaums“ und damit der flächenhaften Größe der Entlastungsgebiete gibt es keine einheitliche Definition.

Im Rahmen der hier durchgeführten Arbeiten wurde der – in Brandenburg entwickelten – Definition sogenannter hydrogeologischer Struktureinheiten (HANNAPPEL et al. 1995) gefolgt, nach der Entlastungsgebiete Bereiche sind, in denen die mittleren Flurabstände des Grundwassers im Jahresdurchschnitt weniger als 2 m betragen und die Grundwasserüberdeckung sandig oder z. T. anmoorig (holozäne Deckschichten) ausgeprägt ist. Abbildung 1 zeigt hierzu eine schematische Skizze mit der Lage des Entlastungsgebietes des Grundwassers.

Die räumliche Identifizierung der Entlastungsgebiete ist also durch die Berechnung des mittleren Flurabstandes des Grundwassers in den ungespannten Gebieten bei einer freien Grundwasseroberfläche möglich. Der Flurabstand kann dann durch den digitalen Verschnitt des Geländemodells mit der freien Grundwasseroberfläche ermittelt werden, wie es bereits landesweit in Berlin (HANNAPPEL & LIMBERG 2007) und Brandenburg – hier für die forstlich genutzten Gebiete mit ungespanntem Grundwasser – durchgeführt wurde (HANNAPPEL & RIEK 2011).

3. Verwendete Datengrundlagen Digitales Geländehöhenmodell DGM 25

Als landesweit digital verfügbare Informationsquelle zu den Geländehöhen wurde das DGM 25 des Landesamtes für in-

nere Verwaltung (LAIV 2009) verwendet. Abbildung 2 zeigt diese Daten in zehn aggregierten Höhenstufen. Die landesweit verfügbaren und verwendeten Höhenangaben zur Geländeoberfläche des DGM 25 sind vor allem im Hinblick auf die horizontale, aber auch in Bezug auf die vertikale Höhenauflösung eine qualitativ hochwertige Datenbasis für die Ermittlung des Flurabstandes, da die räumliche Dichte der Informationen zur Höhe des Grundwasserstandes fast immer in einer geringeren Auflösung vorliegen.

Informationen zu oberirdischen Fließ- und Standgewässern

Es wurden die lagebezogenen und georeferenzierten Daten zu den Fließ- und Standgewässern (DLM25-W-L bzw. DLM25-W-F) verwendet. Das digitale Gewässernetz wurde ursprünglich mit dem DLM 25 erstellt, ist inzwischen aber in mehreren Etappen unter Einbeziehung umfangreicher Korrekturinformationen der Wasser- und Bodenverbände (WBV) sowie unter Nutzung der digitalen Orthofotos mehrfach überarbeitet worden.

Informationen zur landesweiten Grundwasserdynamik

Grundwassergleichen wurden auf der Basis von im Jahr 2003 8 133 digital verfügbaren Angaben zu den Wasserständen des Grundwassers und der oberirdischen Gewässer digital ausgehalten (LUNG 2004). Ein konkreter Stichtagsbezug bestand allerdings nicht, die Wasserstände entstammten – auch durch die Integration der Daten aus den hydrogeologischen Erkundungen – z. T. sehr weit auseinander.

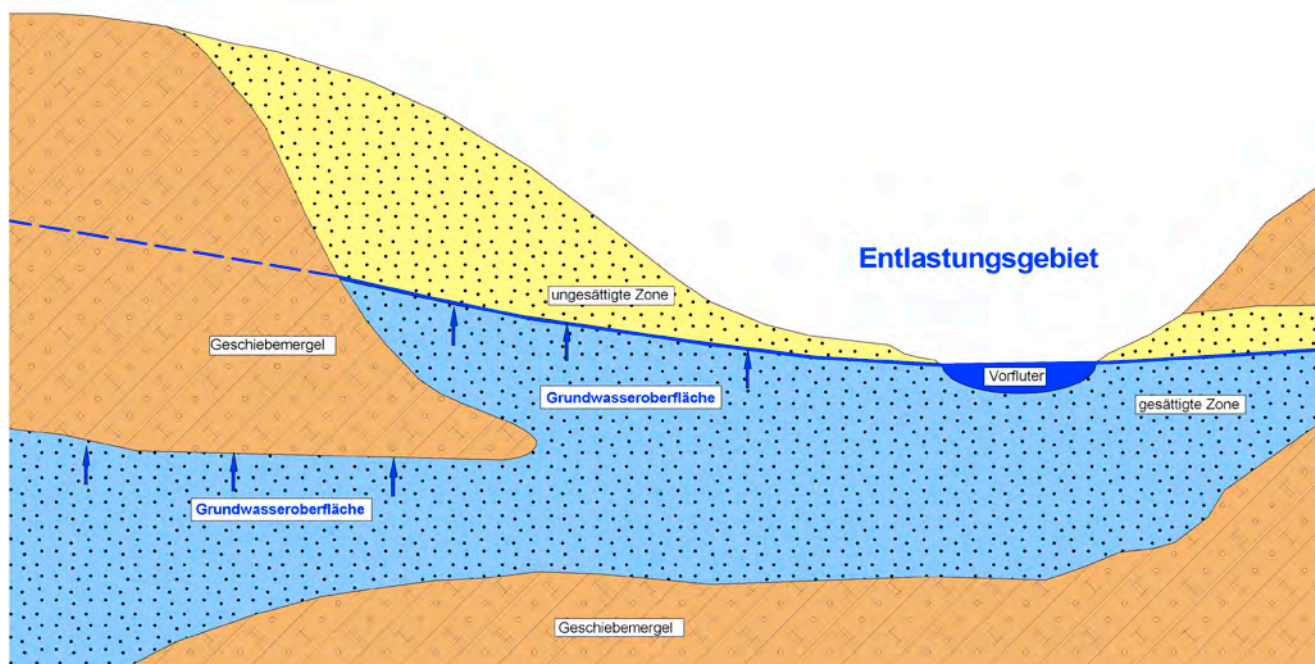


Abb. 1: Schematische Skizze der hydrogeologischen Position eines Entlastungsgebietes im Lockergestein
Fig. 1: Scheme of the hydrogeological strata position of a discharge area in unconsolidated rocks

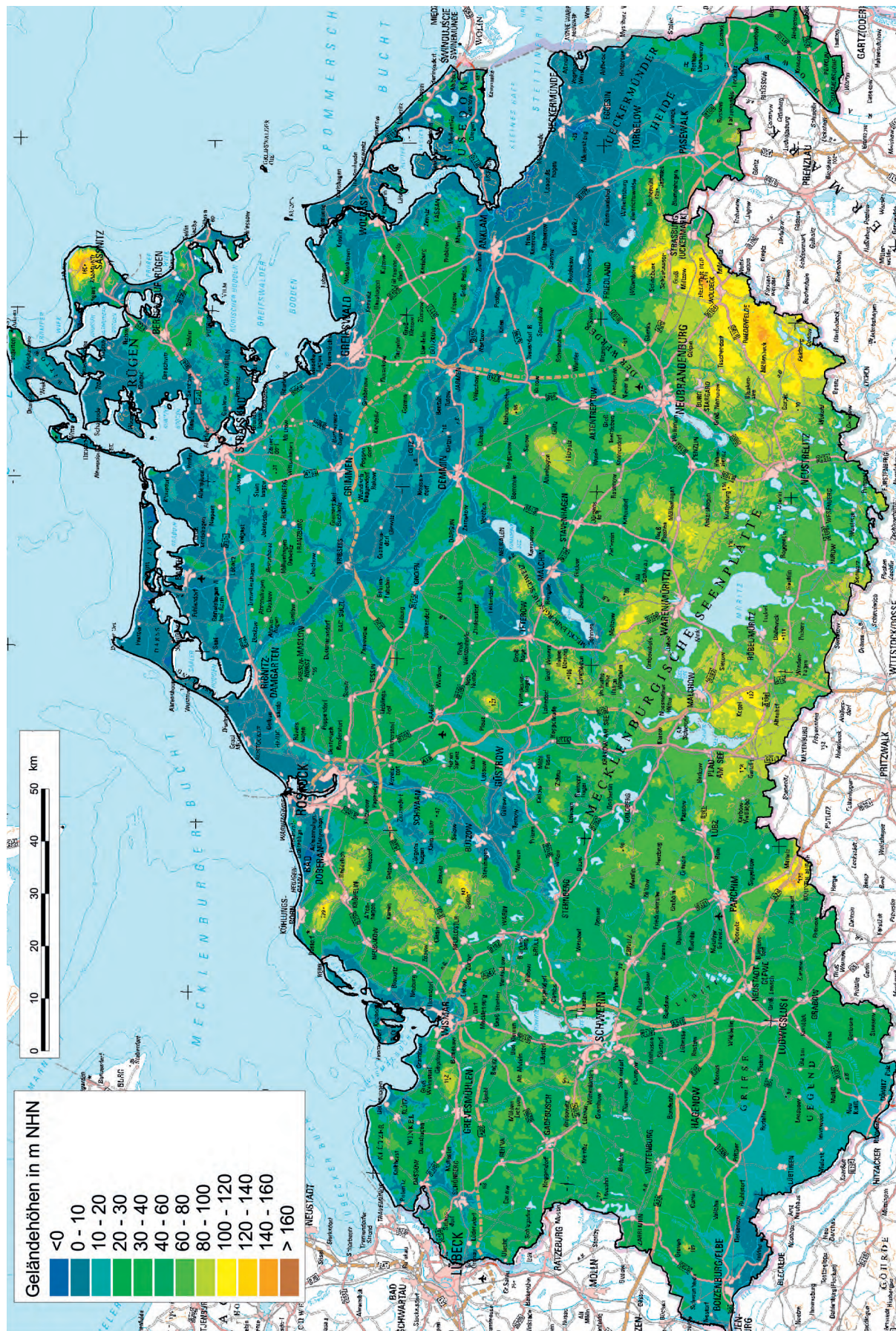


Abb. 2: Aggregierte Geländehöhen des digitalen Geländehöhenmodells DGM 25 in Mecklenburg-Vorpommern
 Fig. 2: Ground level elevations of the digital model DGM 25 in Mecklenburg-Western Pomerania

ander liegenden Zeiträumen von bis zu mehreren Jahrzehnten. Ferner wurden Informationen aus hydrogeologischen Gutachten und geohydraulischen Modellierungen berücksichtigt. Inzwischen hat sich die verwendbare Datenbasis zu gemessenen Grundwasserständen gegenüber dem Jahr 2003 jedoch wesentlich erweitert, so dass eine Neubearbeitung als sinnvoll angesehen wurde. Es wurde daher vereinbart, mit allen aktuell verfügbaren Daten eine Optimierung des Informationsstandes zu erreichen.

Daten der Hydrogeologischen Karte 1 : 50 000 (HYKA 50)

Landesweit digital verfügbare Daten der „Karte der Grundwassergefährdung“ (s. Abb. 3) als Teil der „Hydrogeologischen Karte 1 : 50 000“ (VOIGT 1987) wurden verwendet, um Informationen zum hydraulischen Kontakt zwischen den oberirdischen Gewässern und dem Grundwasser ableiten zu können. In Gebieten mit ungespanntem Grundwasser besteht dieser Kontakt fast immer. In gespannten Gebieten, unter geologisch gestörten oder unter anmoorigen Deckschichten kann das auch der Fall sein, ist jedoch lokal und auch saisonal sehr unterschiedlich. Hier wurde jeweils eine Einzelfallentscheidung getroffen. Bei gespanntem und artesischem Grundwasser sowie in Gebieten ohne nutzbare Grundwasserführung besteht dagegen fast nie ein Kontakt, so dass hier grundsätzlich keine Gewässerhöhen berücksichtigt wurden.

Gemessene Wasserstände des Grundwassers und von oberirdischen Gewässern

Sowohl der digital verfügbare Kenntnisstand bis 1997 als auch alle aktuell vorhandenen Daten zu den Gewässerhöhen des Grundwassers und der oberirdischen Gewässer wurden für die Neuberechnung der Grundwassergleichen verwendet. Bei den Grundwasserdaten handelt es sich um insgesamt 1 832 bohrungsbezogene Angaben zu Grundwasserständen nach 1997 aus der Landesbohrdatenbank. Diese waren vorab nicht auf Plausibilität geprüft worden. Vor allem in ungespannten Gebieten wurden Wasserstände von Messstellen mit einem Ausbau unterhalb bindiger Deckschichten verworfen, da sie dort in gespannten Bereichen ausgebaut sein können. Die Wasserstände entstammen Bohrungen, die im Zeitraum von 1998 bis 2010 abgeteuft wurden. Hierin enthalten sind z. T. Mehrfachangaben von Wasserständen aus unterschiedlichen Tiefenbereichen der gleichen Bohrung im Fall eines Mehrfachausbaus der Messstellen oder Brunnen. In diesen Fällen wurde dann zumeist der Wasserstand des oberen Ausbaus verwendet.

Bei den Daten zu den oberirdischen Gewässern handelt es sich einerseits um die „Seenliste des Seenprogramms MV“ mit 680 lagebezogenen Angaben zu terminbezogen eingemessenen Wasserständen und andererseits um die langjährigen Mittelwerte der 93 aktuell im Jahr 2010 ge-

messenen Wasserstände von Fließgewässern. Erstere wurden ausschließlich zur Korrektur der aus der Topographischen Karte im Maßstab 1 : 10 000 (TK 10) abgegriffenen Gewässerhöhenpunkte an den Ufern der Standgewässer verwendet, da hier von einer Ausspiegelung des Wasserkörpers ausgegangen werden konnte. Letztere gingen in ungespannten Gebieten unmittelbar in die weitere Bearbeitung ein. Schließlich wurden noch digitale Informationen zu den Isobathen der Standgewässer („Tiefenkarten“) verwendet.

4. Datenerfassung von Wasserständen der Fließgewässer der digitalen TK 10

Voraussetzung zur Berücksichtigung der Wasserstände von oberirdischen Gewässern zur Berechnung der Grundwassergleichen ist in jedem Fall der hydraulische Kontakt des Grundwassers mit dem Fließ- oder Standgewässer an der Uferlinie. In gespannten Gebieten können die Gewässer ohne diesen Kontakt mit dem Grundwasser innerhalb des bindigen Substrates „schweben“. Die räumliche Bedeutung der georeferenzierten Daten zu den Wasserständen der oberirdischen Gewässer resultiert aus ihrer anschließenden Verwendung für die geostatistisch basierte Regionalisierung aller Wasserstände. Je dichter die verwendete Datenbasis in räumlicher Hinsicht, desto besser ist das zu erwartende Ergebnis.

Die TK 10 in der (alten) „Ausgabe Staat“ (AS) enthält an sehr vielen Standorten zu den Gewässern die gesuchten Informationen. Die neue Auflage der TK 10 enthält diese Informationen nur noch in sehr reduzierter Form und ausschließlich an Standgewässern, daher musste auf die Ausgabe AS zurückgegriffen werden. Es sind die „Gewässerhöhen“, die in der TK 10-AS zwar enthalten, jedoch nicht separat digital verfügbar sind. Aus diesem Grund wurden sie unter Verwendung eines GIS abdigitalisiert. Bei dem in der TK 10 enthaltenen Wert handelt es sich um einen langfristigen Mittelwasserstand. Als solches wurde er interpretiert und ggf. mit den Daten der „Seenliste des Seenprogramms MV“ oder der langjährigen Mittelwerte der Fließgewässer transformiert. Es wurde ein Punktshape anhand der georeferenzierten Digitalisierung der Punkte im GIS-ArcView sowie der gleichzeitigen Eintragung des in der TK 10 abgedruckten Wertes in die Attributtabelle erzeugt. Die Gewässerhöhen wurden sowohl an den Uferlinien der Fließ- als auch der Standgewässer digitalisiert. Jeder einzelne Wert wurde vor seiner Digitalisierung einer räumlichen Einzelfallprüfung unterworfen.

Die Gewässerhöhenpunkte wurden im Anschluss an die abschnittsweise Digitalisierung nochmals einer zusammenfassenden Prüfung unterzogen, im Rahmen derer z. B. eine komplette Bereinigung des Datensatzes um Punkte durchgeführt wurde, die in den Gebieten mit gespanntem Grundwasser lagen. Insgesamt wurden 10 467 Punkte digitalisiert, deren Lage in Abbildung 3 dargestellt ist. Gut erkennbar ist

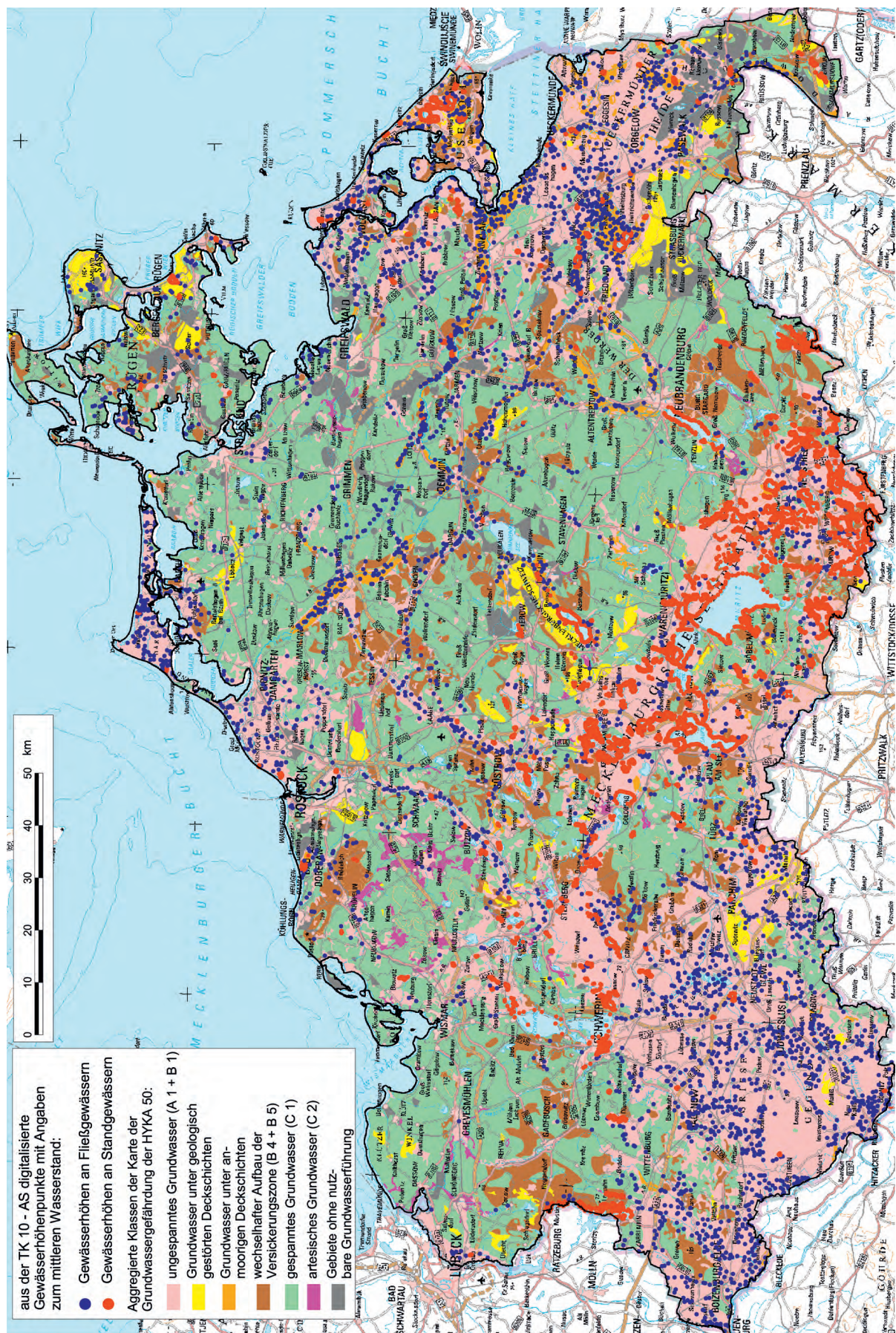


Abb. 3: Hydrogeologische Informationen der HYKA 50 und Lage der digitalisierten Gewässerhöhenpunkte aus der TK 10
 Fig. 3: Hydrogeological information of the HYKA 50 and positions of the digitalized water heights from topographical maps

die regionale Konzentration sowohl der Fließ- als auch der Standgewässerpunkte in den Gebieten mit ungespanntem Grundwasser im Südwesten, Süden (Seenplatte), im Osten (Ueckermünder Heide) und auf den Inseln (Usedom, Darß, Zingst). Innerhalb der Grundmoränenbereiche wurden nur Gewässerpunkte in engen Flusstälern digitalisiert, wo ein engräumig begrenzter hydraulischer Kontakt zwischen dem Grundwasser und den oberirdischen Gewässern besteht.

5. Neuberechnung der Daten zur Grundwasserdynamik Digitalisierung zusätzlicher Stützpunkte zu Wasserständen

Das Ziel der Ermittlung der Grundwasserbeeinflussung der oberirdischen Gewässer kann nur über den Flurabstand des Grundwassers in den ungespannten Gebieten erreicht werden. Für diesen müssen die Grundwassergleichen digital zur Verfügung stehen. Da es naturräumlich und auch technologisch aufgrund der eingesetzten geostatistischen Regionalisierungsverfahren nicht sinnvoll ist, die Grundwassergleichen ausschließlich in den Niederungen in Flussnähe zu berechnen, wurde eine Neuberechnung der Grundwassergleichen mit allen zugrunde liegenden Stützpunkten flächenhaft durchgeführt. Hierfür wurden die letztmalig im Jahr 2003 überarbeiteten Daten zur Grundwasserdynamik unter Nutzung aller verfügbaren Informationen aktualisiert und landesweit digital durch eine einheitliche geostatistische Regionalisierung überarbeitet.

Die punktbezogene Datengrundlage wurde um weitere Stützpunkte mit einem Wert zum Wasserstand des Grundwassers oder der oberirdischen Gewässer ergänzt. Dies

war notwendig, da keineswegs überall eine homogene Aufschlussdichte vorhanden war, die jedoch für die Anwendung geostatistischer Verfahren von großer Bedeutung ist, da ansonsten die Schätzvarianzen – und dadurch die Unsicherheiten der berechneten Grundwasserstände – sehr groß werden. Zur Herleitung der notwendigen Höhenangaben zum Wasser wurden alle vorhandenen und notwendigen Informationen genutzt, also sowohl Informationen zu den Geländehöhen als auch Daten zu den Höhen der oberirdischen Gewässer und des Grundwassers. Zu letzterem wurde insbesondere versucht, die Informationen in den oft regional mit großer Sorgfalt erstellten Grundwassergleichenlinien (LUNG 2004) dadurch zu nutzen, dass entlang der Linien Stützpunkte digitalisiert und mit einem Wert versehen wurden. Das war vor allem außerhalb der Niederungsgebiete in den Höhenlagen des Landes von Bedeutung. Hierdurch wurde versucht, die Strukturen der Gleichenlinien zu erhalten, sie gleichzeitig aber auch in Einklang mit den insgesamt aktuell zur Verfügung stehenden Stützpunkten zu bringen. Tabelle 1 zeigt die Anzahl der aggregierten Datenbasis pro Herkunftsart der punktbezogenen Messwerte zu den Wasserständen der oberirdischen Gewässer und des Grundwassers.

Geostatistische Regionalisierung aller punktbezogenen Daten

Ziel war die Erarbeitung eines landesweit digital verfügbaren und zukünftig fortschreibbaren Datensatzes (Grids) zur Grundwasserdruckfläche in den ungespannten und gespannten Gebieten. Für eine solche kontinuierliche, also regelmäßige Festlegung eines unregelmäßig im Raum ver-

Datenquellen bzw. -herkunft	Anzahl Werte
Grundwasserstandsmessstellen LUNG (Stand: 2003)	522
Sondermessnetze (Stand: 2003)	11
Grundwasserstände aus Gutachten nach 1990 (Stand: 2003)	226
Grundwasserstandsdaten, die nicht im HYRA-Speicher erfasst sind (Stand: 2003)	60
Grundwasserstände aus Datenspeicher HYRA (Stand: 2003)	4 602
Grundwasserstände unbekannter Herkunft (Stand: 2003)	41
Grundwasserstände aus Landesbohrdatenbank LUNG ab 1998 (Stand: 2010)	1 153
zusätzliche Stützpunkte Grundwasser in Höhenlagen ohne Korrektur	1 157
zusätzliche Stützpunkte Grundwasser in Höhenlagen mit Korrektur	96
langjährige Mittelwerte oberirdischer Fließgewässerpegel LUNG (Stand: 2010)	60
Wasserstände oberirdischer Fließgewässer aus TK 10-AS	3 919
Wasserstände oberirdischer Standgewässer aus TK 10-AS	6 507
zusätzliche Stützpunkte an oberirdischen Fließgewässern	236
zusätzliche Stützpunkte an oberirdischen Fließgewässern zur Vermeidung von Artesik	2 024
zusätzliche Stützpunkte in der Nähe oberirdischer Fließgewässer zur Vermeidung von Artesik	226
Summe punktbezogene Datengrundlagen	20 840

Tab. 1: Anzahl der verwendeten Stützstellen zur Berechnung der Grundwasserstände

Tab. 1: Number of the utilized nodes to mode the groundwater pressure heads

teilten Parameters stehen die Messungen nur an ausgewählten Orten (Stützpunkten) zur Verfügung. Um „vom Punkt in die Fläche“ zu kommen, also Angaben zur flächenhaft regulären Verteilung des Parameters zu erhalten, müssen die Informationen aus den Punktmessungen räumlich interpretiert werden. Eine Variable kann an jedem Ort im Raum einen anderen Wert annehmen. Diese Variabilität lässt sich oft nicht vollständig beschreiben. Sie ist aber meist nicht völlig zufällig, sondern durch eine gewisse räumliche Kontinuität geprägt. Bekannt ist, dass räumlich näher beieinander liegende Messwerte ähnlicher zueinander sind als weiter entfernte. Geostatistisch wird dies mit einer Zufallsfunktion und der Hypothese beschrieben, dass der Erwartungswert der Zufallsfunktion über das betrachtete Gebiet konstant ist. Daraus folgt, dass die Varianz zwischen zwei Punkten nur von der Entfernung und nicht vom Ort der Punktmessungen selbst abhängig ist.

Als Regionalisierungsverfahren wurde das „Ordinary-Punkt-Kriging“-Verfahren verwendet. Dieses Verfahren basiert auf der Bildung gewichteter Mittelwerte und berücksichtigt zusätzlich eine räumliche Anisotropie (SCHAFMEISTER 1999), die durch die Variogrammanalyse Eingang in den Berechnungsalgorithmus zur Ermittlung der Grundwassergleichen fand (HYDOR 2010). Der Bearbeitungsaufwand war zudem für den landesweiten Datensatz vertretbar. Mit den aggregierten Daten zu den Wasserständen wurde jeweils eine möglichst optimale Anpassung der Variogramme ermittelt. Es wurde das lineare Modell ohne Berücksichtigung eines Nugget-Effekts verwendet, da hiermit die beste Anpassung der Mess- an die Schätzwerte erreicht werden konnte. Durch Anpassung der Modellkurven an die Variogrammfunktionen wurden Parameter für eine optimal angepasste Interpolation gewonnen. Der Gitterabstand betrug – aufgrund der Gitterweite des anschließend für die Flurabstands-berechnung verwendeten DGM 25 – einheitlich 25 m. Hieraus resultieren 10 241 (Ost-West-) x 6 881 (Nord-Süd-Richtung) Gitterpunkte, also 70 468 321 Einzelpunkte im Rechteck um die Landesfläche.

Ergebnis der Neuberechnung der Grundwasserdruckfläche

Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Neuberechnung in Form von Flächeninformationen in einer groben Intervallskalierung von 0 – 135 m NHN; Gebiete mit berechneten Grundwasserständen unter dem Meereswasserspiegel im Bereich der Küsten sind farblich separat gehalten (lila Flächen).

Die Karte zeigt im Vergleich zu den bisherigen Grundwassergleichen in sehr vielen Gebieten eine gute Übereinstimmung, vor allem außerhalb der Niederungsbereiche. Dies war ausdrücklich methodisch erwünscht, da hier den oft auf Detailkenntnissen beruhenden Gleichenlinien des Jahres 2003 eine hohe Erklärungskraft zugesprochen werden kann. Aus diesem Grund wurden in diesen Gebieten auch zusätzliche Stützpunkte entlang von Isohypsen eingefügt.

In vielen Gebieten verlaufen die Gleichenlinien in der neu erarbeiteten Form jedoch auch anders. In den meisten Fällen ist dies durch Messwerte belegt, die aktuell in der Datenbasis zur Verfügung standen.

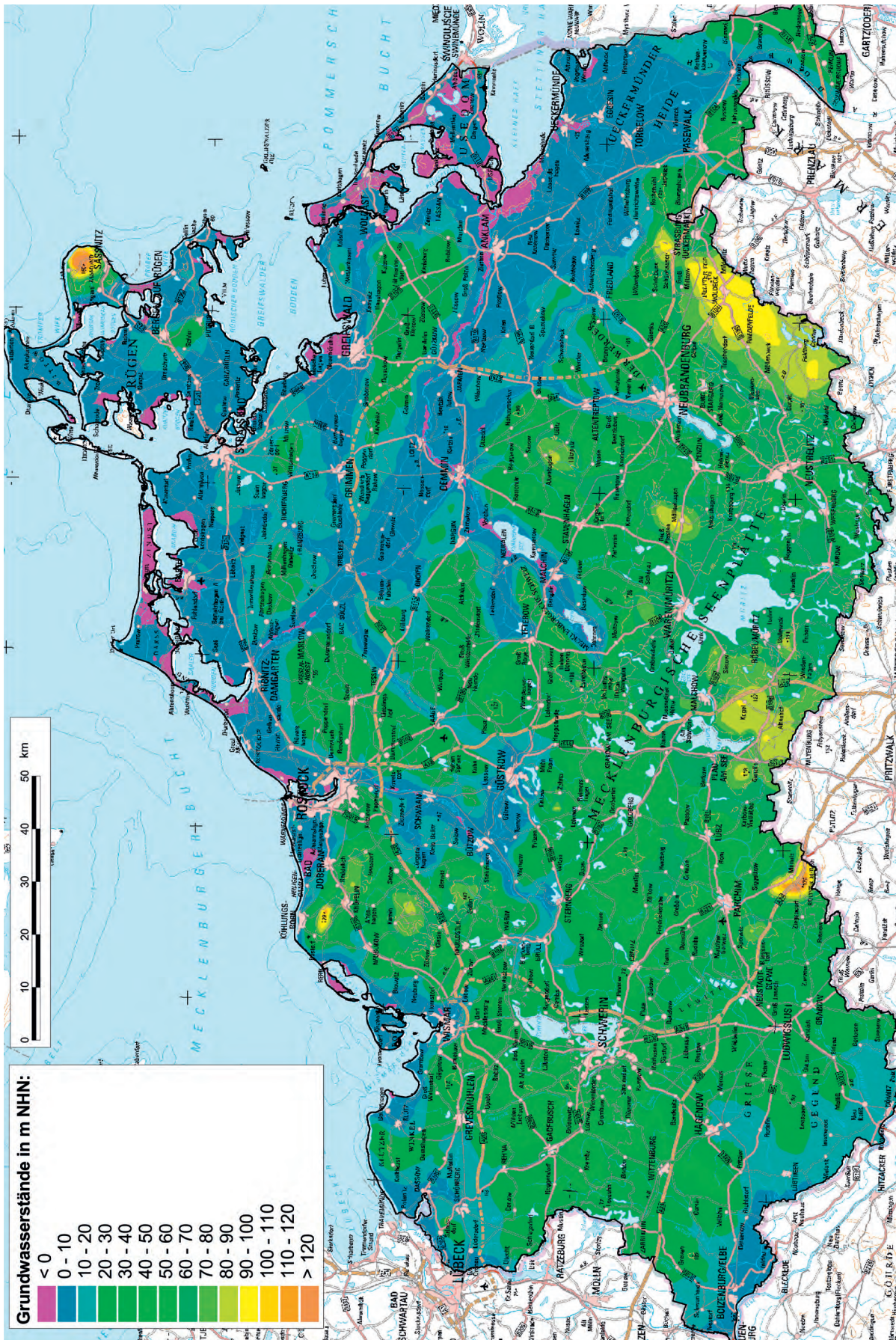
Abweichungen treten dort auf, wo die HYKA 50 dokumentiert, dass die oberirdischen Gewässer keinen Anschluss an das Grundwasser haben. Hier laufen die Gleichenlinien vom LUNG (2004) dennoch oftmals „talparallel“ und suggerieren damit einen solchen Anschluss, z. B. im unteren Trebeltal westlich von Demmin oder an mehreren Stellen im Recknitztal. Die neuen Grundwassergleichen kreuzen in den gespannten Bereichen die Gewässer und zeigen hier damit die eigenständige Dynamik an. Vor allem in den in die Grundmoränenbereiche tief eingeschnittenen Niederungsbereichen der engen Flusstäler (z. B. obere Peene, Tollense) war es jedoch nicht immer möglich, die Gleichenlinien zusammenhängend darzustellen. Auf die Ausweisung der Entlastungsgebiete anhand der Flurabstands-berechnung hat das jedoch keinen Einfluss, da hier stets Flurabstände von weniger als 2 m bestehen.

6. Abgrenzung der grundwassergespeisten oberirdischen Gewässer Ermittlung der Flurabstände und Abgrenzung der Grundwasserentlastungsgebiete

Im Anschluss an die Erstellung der Rasterdaten im 25 m-Abstand zu den Grundwasserständen wurden die Daten jeweils von den Rasterdaten des DGM 25 an den Knoten subtrahiert und damit die Rohdaten zum Flurabstand erzeugt. Entsprechend der Definition des Grundwasserflurabstandes wurden die im Anschluss daran landesweit aggregierten Daten um diejenigen Bereiche reduziert, in denen gespanntes Grundwasser ansteht. Verwendet wurden hierfür die Polygone der HYKA 50, und zwar mit folgenden fünf Ausprägungen:

- B 4.3 („Grundwasser in Gebieten mit einem wechselhaften Aufbau der Versickerungszone und einem Anteil der bindigen Bildungen zwischen 20 und 80 %“), Flurabstand > 10 m),
- C 1.1 („gespanntes Grundwasser mit einem Anteil der bindigen Bildungen an der Versickerungszone von mehr als 80 %“), Flurabstand > 5 bis 10 m,
- C 1.2 („gespanntes Grundwasser mit einem Anteil der bindigen Bildungen an der Versickerungszone von mehr als 80 %“), Flurabstand > 10 m,
- C 2 („artesisch gespanntes Grundwasser“) und
- OGW („ohne nutzbares Grundwasser“).

In allen übrigen Landesteilen enthalten die Ergebnisdaten die mit den Geländehöhen berechneten Flurabstände in den Gebieten mit ungespanntem Grundwasser. Inklusive der Flächenanteile der oberirdischen Gewässer umfassen die ungespannten Gebiete 11 382 km², also etwa 49 % der Landesfläche. Abbildung 5 dokumentiert die Flurabstände des Grundwassers in einer sechsstufigen Skalierung von < 1 m bis > 5 m.



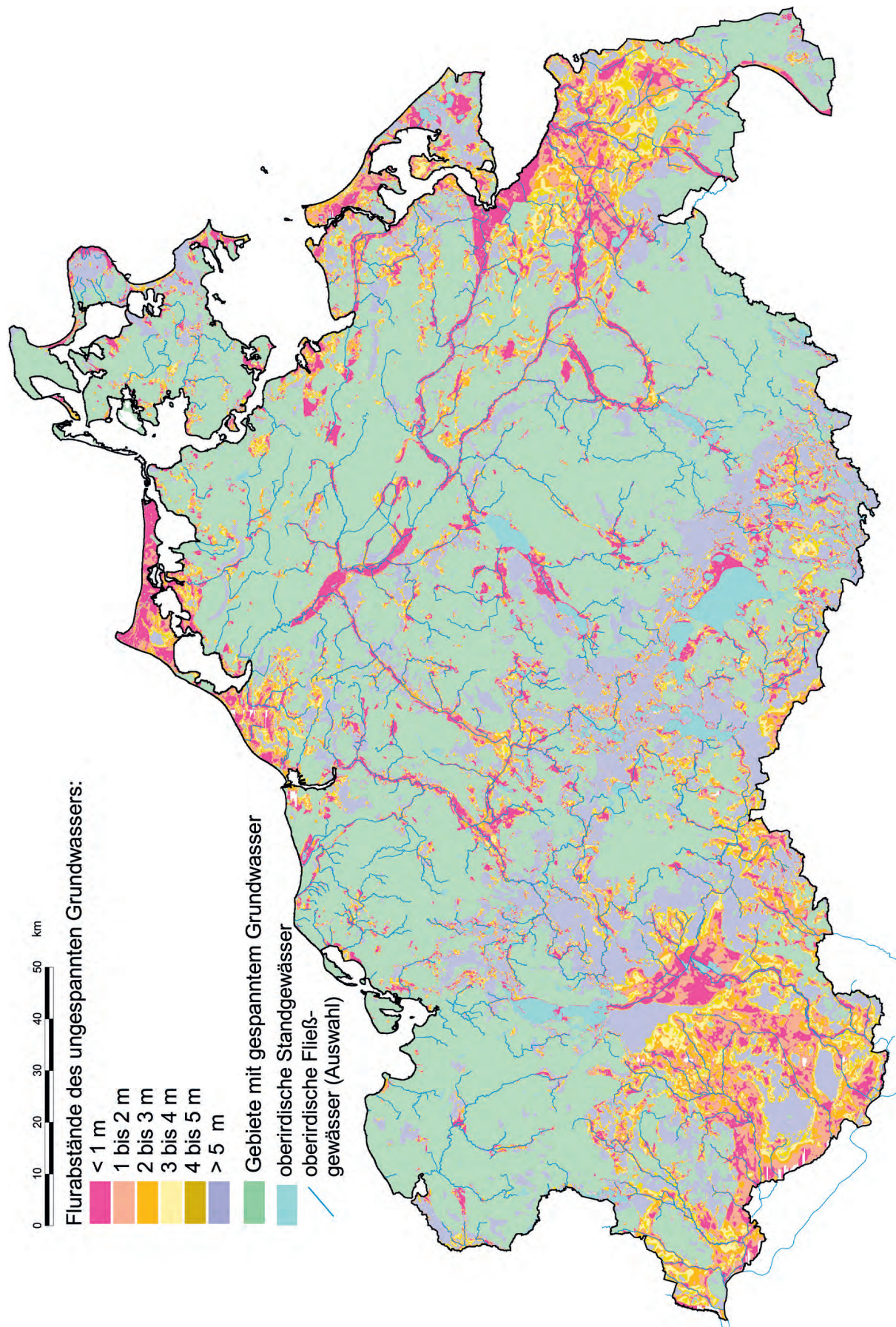


Abb. 5: Flurabstände in Gebieten mit ungespanntem Grundwasser

Fig. 5: Depth to water tables in areas with unconfined groundwater

Die daraus abgeleiteten Entlastungsgebiete des Grundwassers mit Flurabständen von weniger als 2 m umfassen 4 210 km², das sind etwa 18 % der Landesfläche. In diesen Bereichen herrschen im Jahresdurchschnitt aufsteigende Gradienten des Grundwassers und die Pflanzen haben – zumindest saisonal – die Möglichkeit, Wasser aus der gesättigten Zone oder der darüberliegenden Kapillarzone zu entnehmen. Räumliche Schwerpunkte der Entlastungsgebiete befinden sich vor allem im Südwesten (Lewitz, Griese Gegend) und im Osten (Ueckermünder Heide) des Landes sowie in geringerer lateraler Verbreitung fast überall entlang der Flussläufe in den ungespannten Gebieten.

Digitaler Verschnitt der Entlastungsgebiete mit den oberirdischen Einzugsgebieten der Fließ- und Standgewässer

Anschließend wurde ein digitaler Verschnitt der Entlastungsgebiete mit den 4 287 oberirdischen Einzugsgebieten der Fließ- und Standgewässer des Landes durchgeführt. Mit diesen Daten wurde eine dreistufige Klassifizierung der Einzugsgebiete im Hinblick auf die Intensität ihrer quantitativen Grundwasserbeeinflussung vorgenommen (s. Tab. 2).

Die Klassifizierung kennzeichnet nicht einen saisonal unterschiedlichen Grundwassereinfluss, hierzu werden die verwendeten Datengrundlagen vor allem aufgrund des fehlenden Stichtagsbezuges als nicht geeignet eingeschätzt. Vielmehr soll mit dem gewählten Ansatz des Flächenbezuges der räumliche Aspekt der hydraulischen Interaktion zwischen Grundwasser und oberirdischem Gewässer zum Ausdruck gebracht werden.

Die prozentual zunächst niedrig erscheinenden Grenzen zwischen den 3 Klassen verdeutlichen, dass auch bereits bei einem flächenhaften Anteil von nur 10 % des gesamten Einzugsgebietes, in denen das Grundwasser direkt hydraulisch mit dem oberirdischen Gewässer kommuniziert, die Beeinflussung zumindest teilweise vorhanden ist. Da die Gewässer innerhalb ihrer Einzugsgebiete oftmals nur einen linienförmigen Verlauf aufweisen, können dementsprechend auch bereits diese geringen Flächenanteile einen deutlichen Einfluss z. B. beim Stoffeintrag aus den höher gelegenen Neubildungsgebieten des Grundwassers heraus in die Niederungen bewirken. Abbildung 6 zeigt die räumliche Verbreitung der so klassifizierten Einzugsgebiete zusammen mit den Grundwasserentlastungsgebieten.

Erkennbar ist ein deutlicher Bezug zu den hydrogeologischen Randbedingungen. In den gespannten Bereichen des Landes liegen z. B. fast ausschließlich Einzugsgebiete ohne Grundwasserbeeinflussung.

Ausblick

Die Besonderheiten rückgestauter oberirdischer Fließgewässer konnten nicht gesondert betrachtet werden, da die Datenbasis der Gewässerhöhenpunkte dies nicht erlaubte. Vielfach ist anzunehmen, dass ein Teil dieser Gewässer in das umgebende oberflächennahe Grundwasser infiltriert und somit weitere, (künstlich) dauerhafte Entlastungsgebiete geschaffen wurden. Auch die durch den Schöpfwerksbetrieb veränderten Bereiche konnten bisher nicht gesondert berücksichtigt und sollten zukünftig bearbeitet werden.

Für die Auswahl von Maßnahmegebieten kann davon ausgegangen werden, dass in den Entlastungsgebieten die Verweilzeiten des Sickerwassers sehr kurz und damit die kurzfristigen Erfolgchancen von Maßnahmen höher als außerhalb davon in den Neubildungsgebieten sind. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden inzwischen dazu genutzt, landesweit die Verweilzeiten des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung zu berechnen (HANNAPPEL et al. 2011).

Zusammenfassung

Ziel war die Bewertung des Grades der Grundwasserbeeinflussung der oberirdischen Gewässer. Die hydraulischen Interaktionen zwischen dem oberen, großräumig verbreiteten Grundwasser und den oberirdischen Gewässern sollten lokalisiert und räumlich ausgewiesen werden. Im ungespannten Bereich wurden Zonen identifiziert, in denen der Flurabstand des Grundwassers weniger als 2 m beträgt. In diesen Zonen haben die oberirdischen Fließ- und Standgewässer mit hoher Wahrscheinlichkeit hydraulischen Kontakt zum Grundwasser.

Alle digital zur Verfügung stehenden Informationen zur Grundwasserdynamik wurden aggregiert und damit eine neue rasterbezogene Übersicht zu den Grundwasserständen berechnet. Diese ist nicht stichtagsbezogen, konnte aber zusammen mit dem DGM 25 dort, wo das Grundwasser ungespannt vorliegt, dafür verwendet werden, den Flurab-

Klassifizierung der quantitativen Intensität der Grundwasserbeeinflussung	Flächenanteil Entlastungsgebiete am Einzugsgebiet	Flächengröße	Anteil an der Landesfläche
grundwasserbeeinflusst	> 33 %	4 216 km ²	18 %
teilweise grundwasserbeeinflusst	5 – 33 %	10 513 km ²	47 %
nicht grundwasserbeeinflusst	< 5 %	8 237 km ²	35 %

Tab. 2: Einstufung der oberirdischen Gewässereinzugsgebiete im Hinblick auf ihre Grundwasserbeeinflussung

Tab. 2: Classification of the catchment areas of the water bodies in relation to their groundwater influence

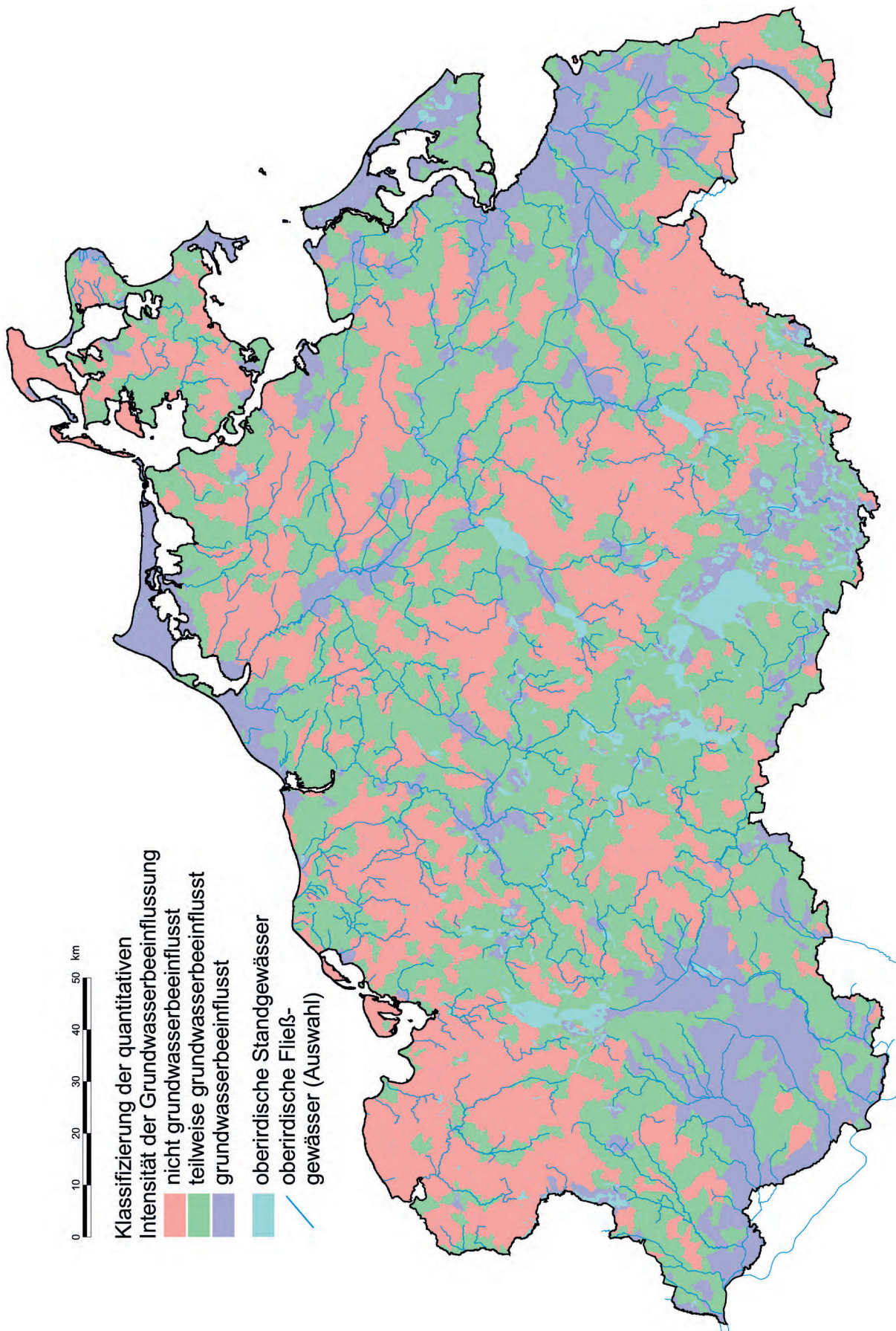


Abb. 6: Räumliche Verbreitung der Grundwasserbeeinflussung der oberirdischen Einzugsgebiete
 Fig. 6: Spatial distribution of the groundwater influenced catchment areas of the water bodies

stand des wasserwirtschaftlich nutzbaren oberen Grundwasserleiters zu berechnen. Das Verfahren gestattet methodisch außerdem eine Abschätzung der Unsicherheiten der Berechnungen (Schätzvarianzen), was zukünftig untersucht werden sollte.

Mit den berechneten Daten zum Flurabstand des Grundwassers konnten die Entlastungsgebiete räumlich ausgewiesen werden. Hier liegen die Flurabstände weniger als 2 m unter Gelände, so dass ein aufsteigender hydraulischer Gradient besteht, die oberirdischen Gewässer an ihrer Sohle und oft auch am Ufer hydraulisch mit dem Grundwasser verbunden sind und zudem viele Pflanzen ihre Wurzeln in das Grundwasser reichen lassen können. Hier findet der unterirdische Weg des Wassers, der in der ungesättigten Versickerungszone beginnt und über die Neubildungsbereiche des Grundwassers in den Höhenlagen seinen weiteren Weg nimmt, seinen Abschluss. Diese Daten sind sehr robust und haben ihre Qualität durch die hohe räumliche Auflösung und die Genauigkeit des DGM 25.

Die Daten der Entlastungsgebiete konnten genutzt werden, um die Einzugsgebiete der oberirdischen Gewässer anhand des prozentualen Flächenanteils der Entlastungsgebiete dreifach zu klassifizieren. Hier zeigte sich, dass etwa 65 % der Einzugsgebiete zumindest teilweise grundwasserbeeinflusst sind. Dies entspricht den naturräumlichen Gegebenheiten im Lockergestein, wo grundsätzlich für jedes oberirdische Gewässer die Möglichkeit des zumindest lokalen hydraulischen Kontaktes zum Grundwasser besteht.

Summary

Purpose of the investigation was to evaluate the groundwater influence of the water bodies. Hydraulic interactions between the shallow widespread groundwater aquifer and the water bodies had to be localized. In areas with untensed groundwater regions with groundwater floor distances less than 2 m were identified. There the water bodies probably have hydraulic contact to groundwater.

All digital data with spatial information to groundwater dynamics were aggregate and not reference dated grid data of the groundwater levels were computed. With this data and the ground level elevations the groundwater floor distance in areas with unconfined groundwater was computed for the aquifer of high importance for water supply. Also the variances of the computations were estimated for further investigations.

With the new generated data to the groundwater floor distances the discharge areas with distances less than 2 m and rising gradients could be identified. Water bodies communicate there with groundwater and also plants can reach groundwater by their roots. The subsurface way of water ends here after passing the unsaturated zone and the recharge areas in

altitude regions. These data are robust because of the high spatial quality of the used ground level elevation data with distances of only 25 m.

The information of the discharge areas could be used to classify the catchment areas of the water bodies triply by the percentage of the discharge areas. It was found that about 65 % of the catchment areas are at least particular groundwater influenced. This is typical for the natural conditions in areas with unconsolidated rocks because almost every water body has the possibility of hydraulic contact to groundwater, at least in local regions.

Literatur

- BIOTA (2009): Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern in Mecklenburg-Vorpommern. – Gutachten des BIOTA Instituts für ökologische Forschung und Planung GmbH Bützow im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (unveröff.)
- HANNAPPEL, S., VOIGT, H.-J. & D. LAUTERBACH (1995): Regionale Bezugseinheiten zur Interpretation des hydrochemischen Status der Porenaquifere im Lockergesteinsbereich, Beispiel Land Brandenburg. – Zeitschrift für Angewandte Geologie **41**, 2, S. 127 – 133, Berlin
- HANNAPPEL, S. & A. LIMBERG (2007): Ermittlung des Flurabstandes des oberen Grundwasserleiters in Berlin im Mai 2006. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **13**, 1, S. 65 – 74, Kleinmachnow
- HANNAPPEL, S. & W. RIEK (2011): Berechnung des Flurabstandes des oberflächennahen Grundwassers der Waldfläche Brandenburgs für hydrologisch typische Zeiträume. – Hydrologie & Wasserbewirtschaftung **1**, 11, S. 42 – 49, Koblenz
- HANNAPPEL, S., LEMKE, G., SCHWERDTFEGER, B. & S. ZEILFELDER (2011): Ermittlung der Verweilzeiten des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung nach der DIN 19 732 für Mecklenburg-Vorpommern. – Tagungsband Tag der Hydrologie 2011, Forum für Hydrologie & Wasserbewirtschaftung **30**, 11, S. 206 – 212, Hennef
- HYDOR (2008): Aktualisierung der Regionalisierung von stofflichen Grundwasserbelastungen in Mecklenburg-Vorpommern. – Gutachten der HYDOR Consult GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Berlin (unveröff.)
- HYDOR (2010): Ermittlung grundwasserbeeinflusster oberirdischer Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern. – Gutachten der HYDOR Consult GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Berlin (unveröff.)

LAIV (2009): Geobasisdaten Landesvermessung, Digitale Geländemodelle. – Hrsg.: Landesamt für innere Verwaltung, Amt für Geoinformation, Schwerin

LAWA (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland. – Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Chemische Gewässergüteklassifikation, Kulturbuchverlag Berlin

LUNG (2004): Karte der Grundwasserdynamik Mecklenburg-Vorpommerns 2003 (Grundwasserdynamik M-V). – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Güstrow (www.umweltkarten.mv-regierung.de)

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

VOIGT, H.-J. (1987): Hydrogeologisches Kartenwerk der Deutschen Demokratischen Republik, Nutzerrichtlinie für die Karten der hydrogeologischen Kennwerte und die Karte der Grundwassergefährdung. – Hrsg.: Zentrales Geologisches Institut, 42 S., Berlin (unveröff.)

Anschrift der Autoren:

Dr. Stephan Hannappel
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 40
13507 Berlin
hannappel@hydor.de

Dr. Beate Schwerdtfeger
Dipl.- Ing. Franka Koch
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie
Mecklenburg-Vorpommern
Goldberger Straße 12
18273 Güstrow
beate.schwerdtfeger@lung.mv-regierung.de
franka.koch@lung.mv-regierung.de