Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	**27** (2020), 1/2	S. 61–73	9 Abb., 9 Zit.

Erweiterung der Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes (zeHGW) für Berlin im Bereich der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte

Enlargement of the map showing the expected highest groundwater level (exp. HGWL) of Berlin in the area of the Teltow Plateau and the Nauen Plateau

Ulrike Hörmann und Hartmut Verleger

1 Einführung und Problemstellung

Die Höhe des Grundwasserstandes ist bekanntermaßen für viele praktische Fragestellungen von Bedeutung. Im Bauwesen ist insbesondere die Kenntnis des höchsten Grundwasserstandes sowohl für die Bemessung einer Bauwerksabdichtung als auch für geotechnische Sicherheitsnachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken erforderlich.

Seit vielen Jahrzehnten werden in Berlin von der Arbeitsgruppe Landesgeologie in der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz hierzu auf Anfrage Grundwasserstandsdaten zur Verfügung gestellt. Das sind z. B. aktuelle Grundwasserstände (AGW) und höchste Grundwasserstände (HGW). Bei Letzteren handelt es sich um tatsächlich während des Beobachtungszeitraums der jeweiligen Grundwassermessstelle registrierte Höchstwerte. Damit wird der HGW hier als gemessener höchster Grundwasserstand verstanden. Bei in die Zukunft gerichteten Fragestellungen – wie es bei der Errichtung und Sanierung von Bauwerken der Fall ist – muss im Einzelfall beurteilt werden, ob ein solcher HGW auch wieder auftreten oder gar überschritten werden kann. Dabei müssen die jeweilige Beobachtungsspanne, die Messfrequenz und mögliche anthropogene Beeinflussungen des Grundwasserstandes betrachtet und bei der Festlegung eines Bemessungsgrundwasserstandes berücksichtigt werden.

Die Beobachtungsdauer der Grundwassermessstellen ist in Berlin sehr unterschiedlich. Z. T. reichen die Aufzeichnungen des Grundwasserstandes zwar bis in die 1870er Jahre zurück, die aber nur an wenigen Grundwassermessstellen im seinerzeitig kleinen Stadtgebiet (vorwiegend das heutige Berlin-Mitte). Hier sind im 19. Jahrhundert meist deutlich höhere Grundwasserstände gemessen worden als heute, die aber einer Festlegung von Bemessungsgrundwasserständen nicht zugrunde gelegt werden sollten, da sie die Folge von geohydraulischen Randbedingungen sind, die heute nicht mehr herrschen und auch in Zukunft nicht wieder zu erwarten sind (Limberg, Hörmann & Verleger 2010).

Ein weiteres Problem bei der Beurteilung des HGW hinsichtlich seiner Eignung im konkreten Fall ist der Umstand, dass einerseits der Grundwasserstand in weiten Bereichen des Berliner Stadtgebiets seit z. T. mehr als 100 Jahren vor allem durch die Grundwasserentnahmen der Wasserwerke abgesenkt ist und andererseits hier kaum Informationen über die Höhe des Grundwasserstandes aus der Zeit vor diesen Maßnahmen vorliegen. Damit ist in diesen Bereichen ein quasi unbeeinflusster Zustand überhaupt nicht bekannt. Bei der Bemessung von Bauwerken kann aber nicht davon ausgegangen werden, dass diese Grundwasserabsenkungen dauerhaft Bestand haben werden, was nicht zuletzt Probleme mit Kellervernässungen in den letzten Jahrzehnten gezeigt haben.

Da die Festlegung von Bemessungsgrundwasserständen allein auf der Basis gemessener Werte mitunter recht aufwändig ist, dazu ein hohes Maß an Sachkenntnis und örtlicher Erfahrung erfordert, hatte sich die Arbeitsgruppe Landesgeologie (seinerzeit unter der Leitung von Herrn Dipl.-Geol. Jens Thierbach, nachfolgend Herrn Dipl.-Geol. Alexander Limberg) bereits Mitte der 1990er Jahre entschlossen, unter Zuziehung externer Fachleute eine Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes für das gesamte Berliner Landesgebiet zu entwickeln. Zweck dieser Karte sollte zunächst eine Zeitersparnis für die Bearbeiter sein, die Grundwasserauskünfte kostenpflichtig auf Anfrage erteilen. Ferner war es das Ziel, die Qualität der Informationen zum höchsten Grundwasserstand zu verbessern, indem auch Aussagen in den Gebieten mit langfristiger Grundwasserabsenkung möglich werden. Bis dahin konnten hier nur gemessene höchste Grundwasserstände mit dem Hinweis einer Beeinflussung - ohne diese zu quantifizieren - mitgeteilt werden.

Der auf dieser Karte darzustellende zu erwartende höchste Grundwasserstand (abgekürzt: zeHGW) wurde als derjenige Grundwasserstand definiert, der sich witterungsbedingt maximal einstellen kann. Er kann nach extremen Feuchtperioden auftreten, sofern der Grundwasserstand in der Umgebung durch künstliche Eingriffe weder abgesenkt noch aufgehöht wird.

Der zeHGW ist damit für Bauzwecke deutlich aussagekräftiger als ein in der Vergangenheit – oft nur zufällig – gemessener HGW.

Sinngemäß entspricht die Definition des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes damit der Definition des „Bemessungsgrundwasserstandes“ für Bauwerksabdichtungen gemäß BWK-Regelwerk, Merkblatt BWK-M8 (BWK 2009). Der Begriff Bemessungsgrundwasserstand wird hier zugunsten des Begriffs zu erwartender höchster Grundwasserstand jedoch nicht verwendet, da die zeHGW-Karte auch für andere Fragen neben der nach einer erforderlichen Bauwerksabdichtung zur Verfügung gestellt wird (Limberg, Hörmann, & Verleger 2015).

Bereits bei Beginn dieser Arbeiten wurde – die Entwicklung und Chancen der Digitalisierung voraussehend – ins Auge gefasst, diese Karte dem Nutzer auch direkt über das Internet zur Verfügung zu stellen.

Wegen des von vornherein abzusehenden großen Aufwandes für die Anfertigung einer solchen Karte für ganz Berlin – bedingt durch die Einbeziehung der immensen zu berücksichtigenden Menge an Daten und sonstigen Informationen über Grundwasserstände, hydrogeologische Verhältnisse und anthropogene Einflüsse auf das Grundwasser – war eine abschnittsweise Bearbeitung geplant. Diese richtete sich nach den hydrogeologischen Teilräumen im Land Berlin (Abb. 1):

- dem Warschau-Berliner Urstromtal, das das Berliner Stadtgebiet von Südosten nach Nordwesten durchzieht,
- dem Panketal, bei dem es sich um ein Nebental des Urstromtals handelt,
- der Teltow-Hochfläche und Nauener Platte im Südwesten sowie
- der Barnim-Hochfläche im Nordosten.

Im Hinblick auf die Kartenentwicklung unterscheiden sich die hier ausgewiesenen Bereiche nicht nur durch ihre geologischen Strukturen sondern auch durch das Maß der Beeinflussung des Grundwassers durch den Menschen und z. T. auch durch das Verhältnis des Umfangs der verfügbaren Daten zur Komplexizität der hydrogeologischen Verhältnisse.

Als erster Schritt wurde eine zeHGW-Karte für das Berliner Urstromtal angefertigt (Limberg, Hörmann & Verleger 2010). Die dabei angewandte Methode fußt wesentlich auf einem zu diesem Zweck entwickelten numerischen Grundwasserströmungsmodell, mit dem die Grundwasserpotenzialhöhenverteilung für den sogenannten zeHGW-Fall, d. h. keine temporären Grundwasserentnahmen und -einleitungen sowie hohe Grundwasserneubildung, simuliert wurde. Die berechnete Verteilung der Potenzialhöhen für den

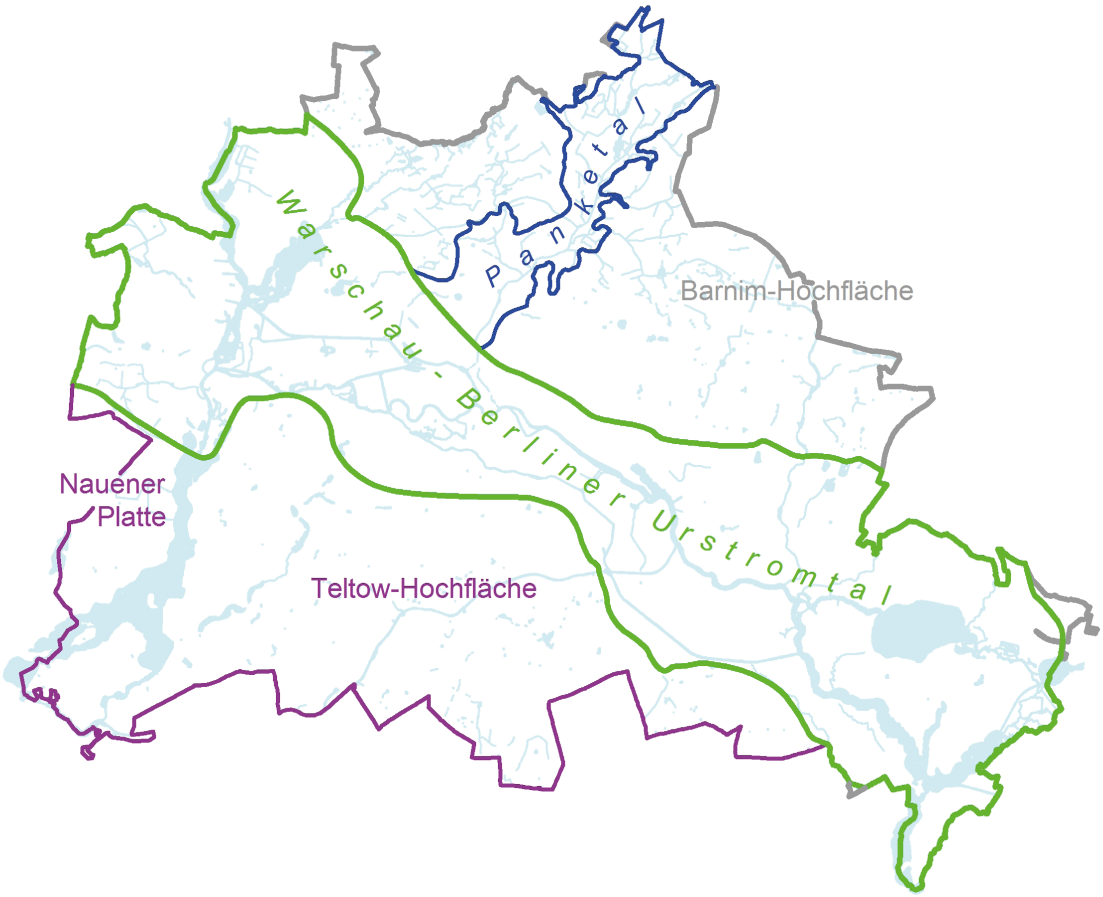

Abb. 1: Hydrogeologische Teilräume im Land Berlin.
Fig. 1: Hydrogeological sub-regions in Berlin.

obersten Grundwasserleiter im Urstromtal ist in Form von Linien des gleichen zeHGW auf der Karte dargestellt. Nach einer intensiven Plausibilitätsprüfung wurde diese Karte ab 2009 von den Fachleuten der Senatsverwaltung intern im Rahmen von Grundwasserauskünften benutzt.
Anschließend ist für das Gebiet des Panketals eine zeHGW-Karte erstellt worden. Dabei wurde nach Voruntersuchungen aufgrund der hier herrschenden Datenlage und einer vergleichsweise geringen anthropogenen Beeinflussung eine andere Methode entwickelt, die auf einer Abschätzung von zu erwartenden höchsten Grundwasserständen an den einzelnen vorhandenen Grundwassermessstellen basiert (Hörmann & Verleger 2016). Die Karte für das Panketal wurde mit der für das Urstromtal zusammengeführt und 2015 im Internet zur Verfügung gestellt.
Nachfolgend ist für den Bereich südwestlich des Berliner Urstromtals eine zeHGW-Karte angefertigt worden, die Gegenstand dieses Artikels ist. Als besondere Herausforderung erwies sich hier die Kombination der im Vergleich zum Urstromtal deutlich komplexeren hydrogeologischen Struktur der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte mit einer intensiven, langjährigen Grundwasserbewirtschaftung. In der Konsequenz dieser Umstände, war hier die Abschätzung einer zeHGW-Verteilung nur mit Hilfe eines numerischen Grundwassermodells möglich, dessen Aufbau zunächst eine für die Aufgabenstellung hinreichende Erfassung und datenmäßige Aufbereitung der hydrogeologischen Strukturen erforderte.

2 Geologische Verhältnisse und Grundwassernutzung

Geologie und Hydrogeologie

Die Teltow-Hochfläche und Nauener Platte schließen im Süden an das Warschau-Berliner Urstromtal an. Der geologische Aufbau, beispielhaft in Abbildung 2 dargestellt, zeichnet sich im Süßwasserstockwerk oberhalb des unteroligozänen, marinen Rupeltons durch z. T. glaukonit- oder glimmerführende Sande des oberen Oligozäns, gefolgt von

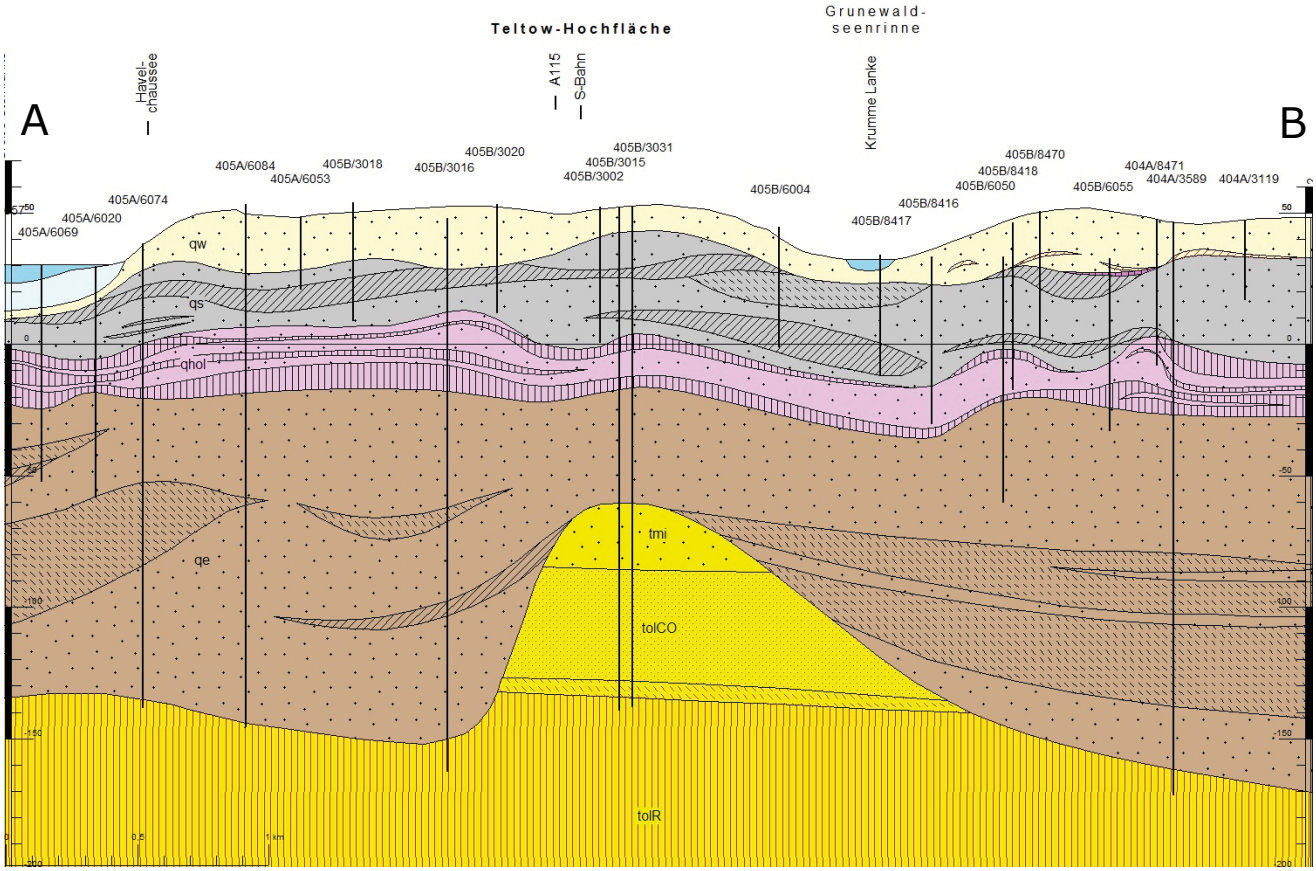

Abb. 2: Ausschnitt aus dem geologischen Schnitt Ost-West 24, qw: Weichsel-Kaltzeit, qs: Saale-Kaltzeit, qhol: Holstein-Warmzeit, qe: Elster-Kaltzeit, tmi: Miozän, tolCO: Oberoligozän-Cottbuser Folge, tolR: Unteroligozän-Rupel Folge, Linienschraffur: bindige Sedimente, Punktschraffur: rollige Sedimente (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2020); die Lage des Schnittes ist in Abb. 3 dargestellt.

Fig. 2: Segment of the geological cross section E-W 24, qw: Weichselian glacial, qs: Saale glacial, qhol: Holstein interglacial, qe: Elster glacial, tmi: Miocene, tolCO: upper Oligocene-Cottbuser sequence, tolR: lower Oligocene-Rupel sequence, lined hatching: cohesive sediments, dotted hatching: non-cohesive sediments (Senate Department for Urban Development and Housing 2020), the location of the cross section is shown in Fig. 3.

einem Wechsel zu küstennah bis kontinental gebildeten Sanden im Miozän aus. Im Hangenden enthalten diese zunehmend Einschaltungen von Schluffen und Braunkohlen. Darüber sind Ablagerungen der drei nordischen, durch mehrere Eisvorstöße gekennzeichneten Kaltzeiten und der dazwischenliegenden Warmzeiten aufgeschlossen. Während der Elster-Kaltzeit wurden in tiefen glazialen, vorwiegend NNE-SSW orientierten Schmelzwasserrinnen, in denen die tertiären Sedimente inklusive des Rupeltons teilweise vollständig erodiert wurden, Serien von Geschiebemergeln, Sanden sowie Beckentonen und -schluffen sedimentiert. Von Westen aus lassen sich die Havelrinne, die Wilmersdorfer Rinne mit ihrer Verbindung über die schmale Kreuzberger Rinne zur östlichen Neuköllner Rinne unterscheiden. In der folgenden Holstein-Warmzeit lagerten sich limnische und fluviatile Sedimente ab, hauptsächlich als Mudden, Tone, Sande und Kiese. Anschließend wurden diese Sedimente in der Saale-Kaltzeit an einigen Stellen völlig ausgeräumt und eine Serie von glazial geprägten Sanden, Geschiebemergeln und Beckentonen abgelagert, über denen sich lokal auch warmzeitliche, limnische Sedimente der Eem-Warmzeit in geringer Mächtigkeit nachweisen lassen. Während der letzten großen Vereisung kam es in der Weichsel-Kaltzeit erneut zur erosiven Überprägung des Reliefs und zur Sedimentation einer Serie von typischen glazifluviatilen und glazialen Ablagerungen vorwiegend mit Sanden und Geschiebemergeln, die in verlandeten Abflusstälern und Becken auch holozäne Torfe und Mudde im Hangenden aufweisen.

Die hydrogeologischen Verhältnisse über dem Rupelton zeichnen sich großräumig durch vier, lokal durch Grundwasser geringleitende (hemmende) Sedimente weiter untergliederte Grundwasserleiter aus. Der erste Grundwasserleiter wird durch Ablagerungen der Weichsel-Kaltzeit und dem Holozän aufgebaut. Der überwiegend Saale-kaltzeitliche zweite Grundwasserleiter repräsentiert den Hauptgrundwasserleiter, aus dem, berlinweit gesehen, der überwiegende Teil der Trinkwasser- und Brauchwasserförderung erfolgt. Der dritte Grundwasserleiter wird hauptsächlich durch Sedimente der Elster-Kaltzeit und der vierte Grundwasserleiter durch Ablagerungen des Miozäns und oberen Oligozäns gebildet. Aufgrund von Fehlstellen in den Grundwasserhemmern gibt es stellenweise hydraulische Verbindungen zwischen den einzelnen Grundwasserleitern.

Das Grundwasser fließt im Hauptgrundwasserleiter entsprechend seinem natürlichen Gefälle im westlichen Teil der Teltow-Hochfläche bzw. Nauener Platte in Richtung Havel, die hier mit ihren seenartigen Ausbuchtungen – wie z. B. dem Großen Wannsee – den Hauptvorfluter bildet (Abb. 3). Im östlichen Bereich der Hochfläche fließt es in nördliche Richtung zum Urstromtal. Insbesondere im zentralen und südlichen Bereich der Teltow-Hochfläche sind gespannte Grundwasserverhältnisse verbreitet. In sandigen Partien kann über bindigen Sedimenten lokal auch oberflächennahes, im Allgemeinen als Schichtenwasser bezeichnetes Grundwasser auftreten.

Grundwasserbewirtschaftung

Im Bereich der Teltow-Hochfläche und Nauener Platte wurden mehrere Wasserwerke (WW) für die öffentliche Trinkwasserversorgung errichtet. Der Betrieb im WW Beelitzhof wurde 1888, im WW Tiefwerder 1914 und im WW Kladow 1932 aufgenommen, wobei unterschiedliche Grundwasserleiter wasserwirtschaftlich genutzt werden. Da die Fördergalerien größtenteils entlang der Havel liegen, wird mehr als 60 % der Rohwassergewinnung über Uferfiltration gespeist. Von 1955 bis 1995 wurde zusätzlich durch den Horizontalfilterbrunnen im WW Riemeisterfenn Grundwasser für die Trinkwasserproduktion gefördert, des Weiteren nutzen verschiedene Eigenwasserversorgungsanlagen in den Gewerbegebieten ebenfalls die quartären Grundwasserleiter.

Durch die Rohwasserförderung für die zentrale Trinkwasserversorgung wurden großräumige Senktrichter erzeugt. Die Seen und Moore im Grunewald verloren dadurch häufig ihren Grundwasseranschluss, der Nikolassee und Riemeistersee fielen vollkommen trocken und im Schlachtensee senkte sich der Seewasserspiegel um ca. 2,20 Meter im Vergleich zum Jahr 1895. Als Gegenmaßnahme wird seit 1913 Havelwasser aus dem Wannsee entnommen und in den Schlachtensee eingeleitet. Aktuell werden bis ca. 4 Mio. m³ jährlich nach einer Eliminierung der Phosphate in den Schlachtensee gepumpt und über ein künstliches Grabensystem in die nördlich in einer glazialen Rinne gelegenen Seen der Großen und Kleinen Grunewaldseen-Kette geleitet. Um die Feuchtgebiete und Uferbereiche der ursprünglich vom Grundwasser gespeisten Seen im Grunewald zu erhalten, werden lokale Maßnahmen zur Stützung des Wasserhaushaltes beispielsweise auch für den Nikolassee, Waldsee und Teufelssee durchgeführt.

Eine weitere großflächige und dauerhafte Grundwasserabsenkung im Bereich der Teltow-Hochfläche ist durch die Dränagewirkung des Teltowkanals bedingt, der 1906 fertiggestellt wurde und im westlichen Bereich dem Bäketal folgt. Unterhalb der Schleuse Kleinmachnow wurde beispielsweise damit das Vorflutniveau gegenüber der alten Bäke um etwa einen Meter tiefer gelegt.

3 Entwicklung der zeHGW-Karte mit Hilfe eines numerischen Grundwasserströmungsmodells

Vorgehensweise

Die rechnerische Simulation des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes erfolgte mit einem numerischen Grundwasserströmungsmodell. Dazu waren, nach einer recht umfangreichen Aufbereitung von Daten über den Schichtaufbau des Untergrundes, die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände sowie der Pegelstände von oberirdischen Gewässern und die Grundwassernutzungen folgende Arbeitsschritte nötig:

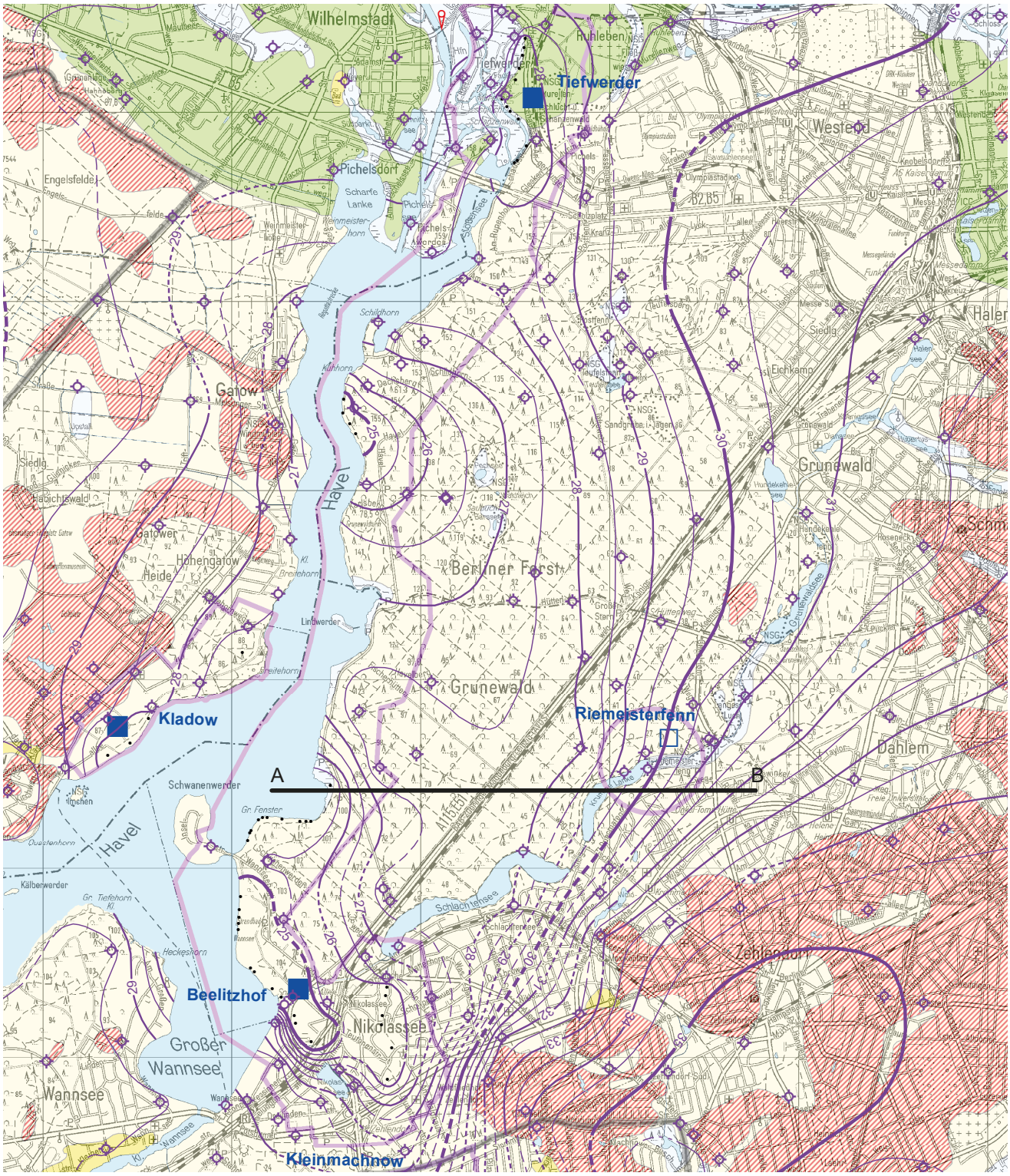

Abb. 3: Ausschnitt aus der Grundwassergleichenkarte Mai 2018. Violett sind die Messstellen und Grundwassergleichen (in gespannten Bereichen gestrichelt) des Hauptgrundwasserleiters in m ü NHN dargestellt. Die Brunnen der Wasserwerke sind als schwarze Punkte, die Standorte der Wasserwerke als blaue Quadrate (ausgefüllt: in Betrieb, nicht ausgefüllt: stillgelegt) abgebildet. (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2019). Hintergrundkarte ist die geologische Skizze (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2013).

Fig. 3: Section of the groundwater isoline map of May 2018. The observation wells and groundwater isolines (confined areas are dashed) of the main aquifer in m a. s. l. are coloured violet. The wells of the waterworks are shown as black dots and the locations of the waterworks (filled: in operation, not filled: inoperative) are represented as blue squares (Senate Department for Urban Development and Housing 2019). The background map shows the geological outline (Senate Department for Urban Development and Housing 2013).

- strukturelle Differenzierung eines aus vorangegangenen Arbeiten entwickelten Grundwassermodells für die vorliegende Aufgabenstellung,
- Kalibrierung und Verifizierung des Modells,
- Simulation des zeHGW und
- Plausibilitätsprüfung und Nachkalibrierung des zeHGW-Modells.

Modellstruktur

Die Basis des Grundwasserströmungsmodells bildete das bereits für die zeHGW-Karte des Urstromtals angelegte, das gesamte Berliner Landesgebiet umfassende, dreidimensionale Grundwasserströmungsmodell (verwendeter Simulator: Programmsystem MODFLOW).

In den Gebieten der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte waren im Vergleich zum Urstromtal auf Grund des beschriebenen hydrogeologischen Aufbaus – insbesondere der stärkeren Untergliederung des Saale-glazialen Hauptgrundwasserleiters in bereichsweise voneinander getrennte Teilgrundwasserleiter – eine entsprechende weitere Differenzierung des Modells nach der Tiefe hin erforderlich. Grundlage für die Erfassung der hydrogeologischen Strukturen waren die geologischen Schnitte der Arbeitsgruppe Landesgeologie, die in Ost–West-Richtung in einem Abstand von einem Kilometer verlaufen und durch einige Nord–Süd-Schnitte (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2020) ergänzt werden. Zur Implementierung der geologischen Strukturen in das Modell sind diese Schnitte zunächst digitalisiert worden. Dabei ist im Hinblick auf die hydrogeologische Fragestellung eine Zuordnung der dargestellten Schichten entsprechend der Grundwasserleiterbezeichnungen für Berlin nach Limberg & Thierbach (2002) vorgenommen worden.

Im Ergebnis der erhöhten Vertikaldiskretisierung ist das Modell nun in acht Modellschichten (sog. Layer) unterteilt (Abb. 4). Dabei steht die Modellschicht L 1 für den Grundwasserleiter GWL 2.1 und ggf. überlagernde Schichten aus lokal vorhandenen Geschiebemergeln und/oder Sanden, die den Grundwasserleiter GWL 1.1 bilden. Die Modellschicht L 2 umfasst den Tiefenbereich, in dem Geschiebemergelschichten auftreten, die örtlich den Grundwasserleiter GWL 2.1 vom tieferen GWL 2.2 trennen. Die Modellschicht L 3 soll den Grundwasserleiter GWL 2.2 wiedergeben, die Modellschicht L 4 den Tiefenbereich darunter, in dem neben Sanden auch derjenige Geschiebemergel auftritt, der lokal den GWL 2.2 vom tieferen Grundwasserleiter GWL 2.3 trennt. Letzterer wird durch die Modellschicht L 5 abgebildet. Die Modellschicht L 6 steht für die gering wasserleitenden Sedimente der Holstein-Warmzeit, die örtlich auch durch durchlässigere, meist sandige Schichten vertreten oder auch nicht vorhanden sind. Die Modellschichten L 7 und L 8 umfassen die Ablagerungen der Elster-Kaltzeit und des Miozäns, die in diesem Modell bisher nicht weiter untergliedert sind. Die untere Begrenzung des Modells bildet die Oberfläche des oligozänen, sehr gering wasserdurchlässigen Rupeltons, der im Berliner Raum das obere Süßwasserstockwerk vom tieferen Salzwasserstockwerk trennt.

Im Modell sind die einzelnen Modellschichten aus rechentechnischen Gründen durchgehend vorhanden. Das gilt natürlich nicht für die tatsächlichen Grundwassernichtleiter bzw. -geringleiter, die bereichsweise die einzelnen Grundwasserleiter voneinander trennen. Dem ist dadurch Rechnung getragen, dass die Rechenzellen dort, wo die hydraulisch trennende Schicht fehlt, mit Durchlässigkeitsbeiwerten entsprechend der an diesen Stellen vorhandenen Sande belegt wurden.

Lateral ist das Grundwasserströmungsmodell so angelegt, dass es nicht nur die gesamte Fläche des Landes Berlin umfasst, sondern auch umliegende Teile des Landes Brandenburg. Es ist in Modellzellen diskretisiert, die in der Draufsicht eine Größe von 50 x 50 m, untergeordnet von 50 x 100 m und nur in den Randbereichen von 100 x 100 m besitzen. Die Anzahl der Zellen pro Schicht beträgt 438 246, die Gesamtanzahl 3 505 968.

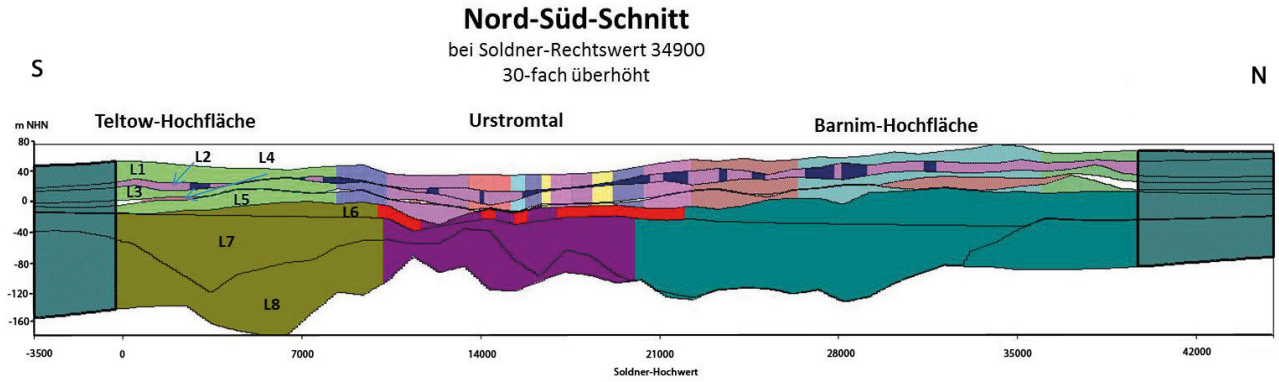

Abb. 4: Schnitt durch das numerische Modell - L 1 bis L 8 Nummerierung der Modellschichten (Layer); die Farben stehen für unterschiedliche hydraulische Leitfähigkeiten.

Fig. 4: Cross section through the numerical model – L 1 to L 8 show the numbering of the layers; the colours represent the different hydraulic conductivities.

Kalibrierung und Verifizierung des Modells

Nach der Verfeinerung der Modellstruktur und einer Anfangsbelegung der Rechenzellen mit geschätzten Durchlässigkeitsbeiwerten, wurde eine Kalibrierung des Modells mittels hydraulisch stationärer Berechnungen vorgenommen. Nach Vorüberlegungen geschah dies für die Beeinflussung der Grundwasserhöhe durch diejenigen hydraulischen Randbedingungen, die im Mittel des Jahres 2001 geherrscht haben. Ausschlaggebend für die Wahl von 2001 als Kalibrierungszeitraum war eine relativ gute Datenlage hinsichtlich der Grundwasserstände.

Grundsätzlich wird die Grundwasserpotenzialhöhe (entsprechend dem Grundwasserstand) bedingt durch:

- die Grundwasserneubildung,
- den Spiegel der Vorflutgewässer (Pegel der natürlichen und künstlichen oberirdischen Gewässer),
- Grundwasserentnahmen z. B. zur Wasserversorgung oder Grundwasserabsenkung bei Baumaßnahmen,
- Einleitungen in das Grundwasser zur Grundwasseranreicherung oder Verbringung von Wasser und
- den geologischen Schichtaufbau mit seiner örtlich differenzierten hydraulischen Leitfähigkeit.

Zu diesen Randbedingungen liegt für das Gebiet der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte im Berliner Landesgebiet umfangreiches Datenmaterial vor, das zusammengestellt, gesichtet, aufbereitet und im Modell implementiert wurde.

Im Rahmen der Kalibrierung wurden die Jahresmittelwerte gemessener Grundwasserstände mit den modellberechneten Grundwasserpotenzialhöhen verglichen und einzelne der genannten – nur bedingt bekannten – Randbedingungen solange variiert, bis eine hinreichende Übereinstimmung der modellberechneten mit den beobachteten Grundwasserständen erreicht war.

Dazu war zunächst die Aufbereitung und anschließende Implementierung dieser Grundwassermessstellendaten (z. B. Lage der Filterstrecken, Jahresmittelwerte) erforderlich. Es handelt sich um insgesamt 777 Grundwassermessstellen, von denen 532 im hier besonders relevanten Hauptgrundwasserleiter (Modellschichten L 1 bis L 6) verfiltert sind (Abb. 5). Die Modellkalibrierung geschah durch eine Vielzahl von Rechenläufen, in denen vor allem die Verteilung der anfangs eingegebenen, nur grob abschätzbaren Wasserleitfähigkeit variiert wurde. Die dadurch erreichte Anpassung der modellberechneten Potenzialhöhen an die beobachteten Standrohrspiegelhöhen gelang zumindest näherungsweise recht gut (Abb. 6), jedoch nicht ganz so gut wie seinerzeit für die zeHGW-Karte im Berliner Urstromtal. Wie sich bei der Bearbeitung herausstellte, ist ein wesentlicher Grund hierfür, dass der kompliziertere Schichtaufbau in den Hochflächenbereichen durch die verwendeten geologischen Schnitte zum Teil nur eingeschränkt bzw. vereinfacht wiedergegeben wird. Um etwaige daraus folgende Unsicherheiten hinsichtlich der zeHGW-Karte zu minimieren, wurde das Modell nach Simulation der zeHGW-Verteilung im Rahmen der Plausibilitätsprüfung nachkalibriert (s. u.).

Bereits vor der Nachkalibrierung ist eine Verifizierung des Modells vorgenommen worden. Dazu ist die mittlere Grundwasserhöhenverteilung für das Jahr 2004 simuliert worden, in dem gegenüber dem Jahr 2001 unterschiedliche

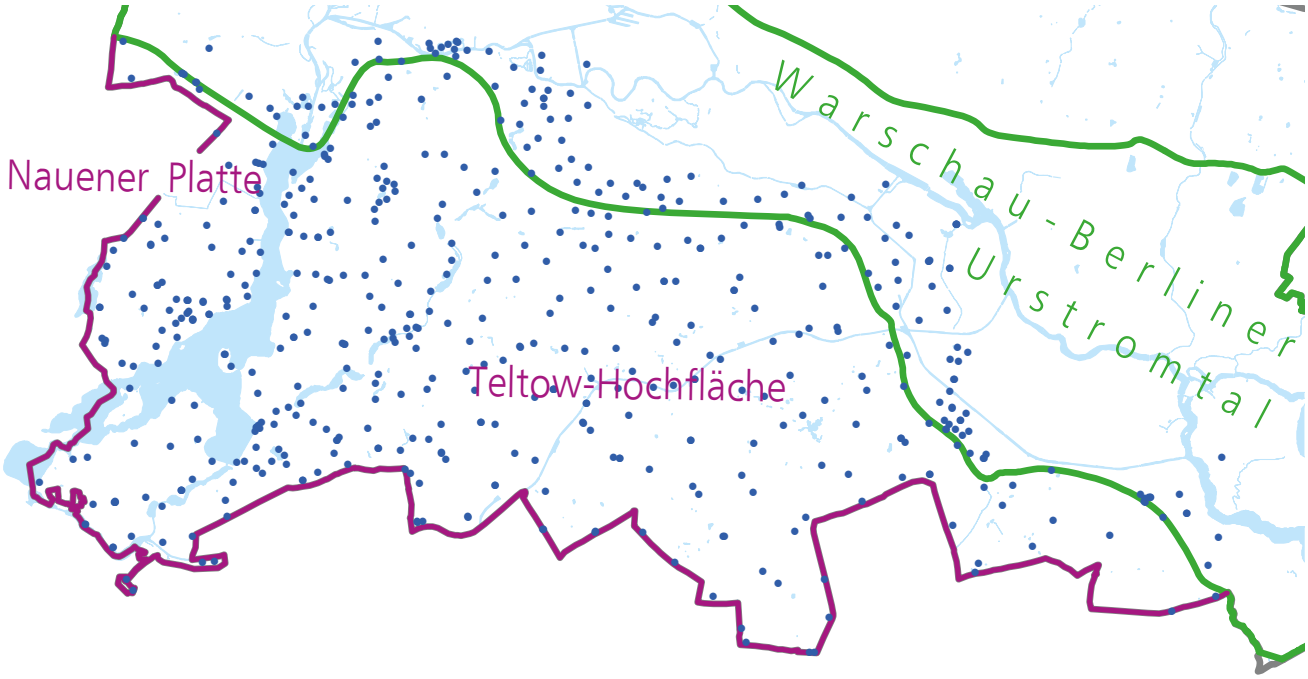

Abb. 5: Lage der zur Modellkalibrierung benutzten Grundwassermessstellen.
Fig. 5: Location of the groundwater observation wells used for the calibration of the model.

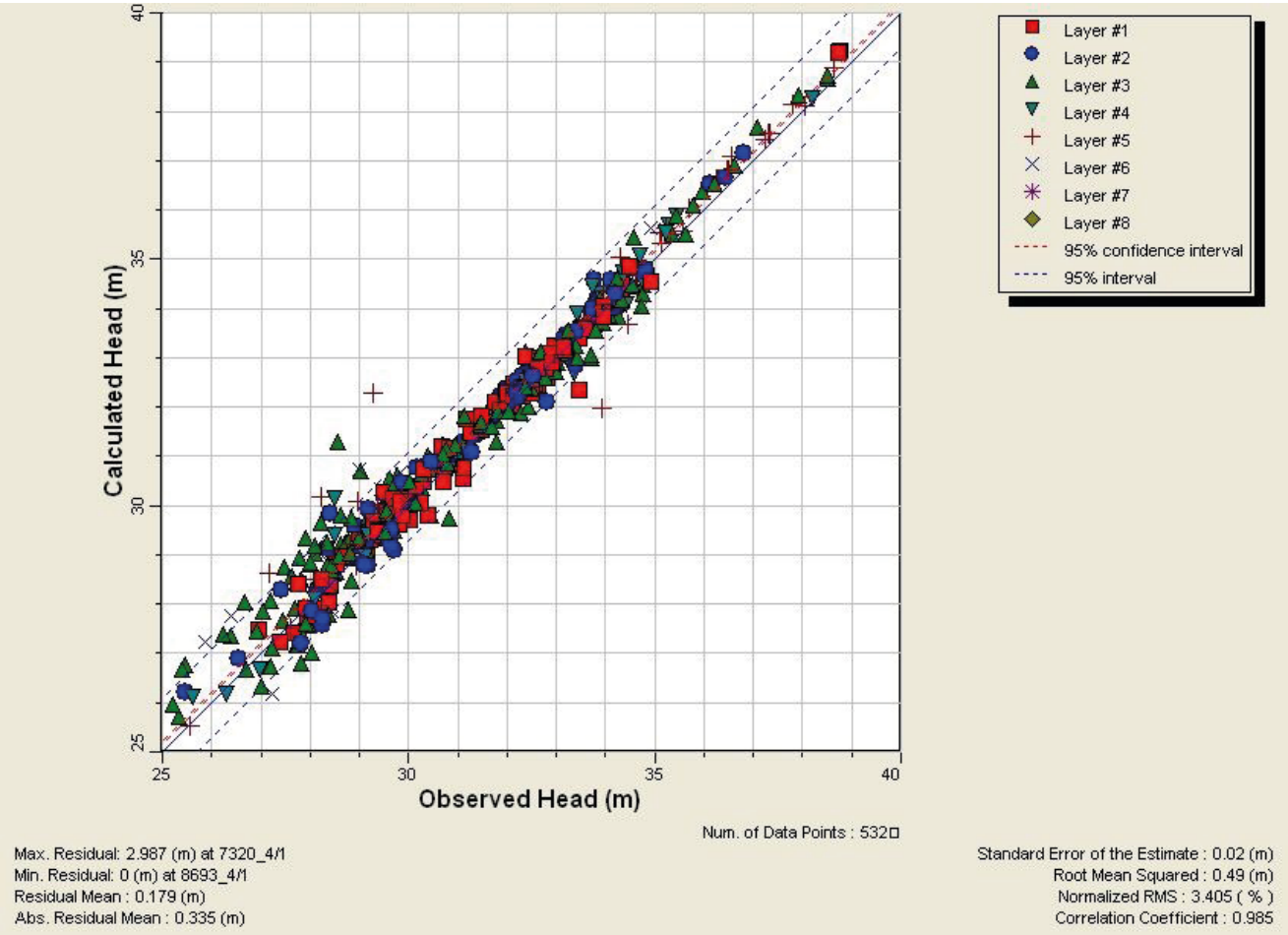

Abb. 6: Vergleich der beobachteten Standrohrspiegelhöhen (Observed Head, Mittelwerte 2001) mit den modellberechneten Standrohrspiegelhöhen (Calculated Head) für die in den Modellschichten L 1 bis L 6 verfilterten Grundwassermessstellen.

Fig. 6: Comparison of observed heads (means of the year 2001) to model calculated heads for the observation wells with well screens in the layers L 1 to L 6.

Grundwasserförderungen und -einleitungen stattgefunden hatten. Der Vergleich der modellberechneten mit den gemessenen Standrohrspiegelhöhen lieferte eine ähnlich gute Übereinstimmung wie für den Kalibrierungszeitraum 2001. Damit ist die grundsätzliche Eignung des Modells zur Simulation von Grundwasserständen bei unterschiedlichen hydraulischen Randbedingungen bestätigt.

Simulation des zeHGW

Zur Berechnung des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes sind die Randbedingungen wie folgt geändert worden:

- es finden keine Grundwasserentnahmen statt, weder zur Wasserversorgung durch die Berliner Wasser Betriebe und private Nutzer noch zum Zweck von Grundwassersanierungsmaßnahmen oder die Wasserfreihaltung von Baugruben,
- es werden keine Einleitungen in das Grundwasser vorgenommen (beispielsweise Grundwasseranreicherungsmaßnahmen der Berliner Wasser Betriebe, Verbringung von Filterrückspülwässern),
- die Grundwasserneubildung ist deutlich erhöht (je nach Größe der mittleren Grundwasserneubildung um Faktoren bis maximal 1,3 – basierend auf Erfahrungen vorangegangener Modellierungen),
- die Spiegel der oberirdischen Gewässer, die als Vorflut für das Grundwasser fungieren, sind gegenüber den Zeiten klimatisch durchschnittlicher Verhältnisse angehoben (je nach Analyse der Pegelganglinien bzw. der Art der Gewässerregulierung um einige Dezimeter bis maximal einen Meter).

Durch die Anhebungen der Grundwasserneubildung und der Vorflutniveaus sollten mit dem Modell Grundwasserpotenzialhöhen berechnet werden, die in den in der zeHGW-Definition genannten „extrem feuchten Perioden“ auftreten.

Plausibilitätsprüfung und Nachkalibrierung des zeHGW-Modells

Zur Prüfung der auf diese Weise berechneten zeHGW-Verteilung standen die gemessenen HGW von 1118 Grundwassermessstellen zur Verfügung. Davon sind 911 im hier relevanten Hauptgrundwasserleiter (GWL 2.1, GWL 2.2 und GWL 2.3) verfiltert. Der Vergleich ihrer HGW-Werte mit den modellberechneten zeHGW-Werten zeigte, dass zwar der allergrößte Teil der zeHGW-Werte über den gemessenen höchsten Grundwasserständen lag oder ähnlich war, aber für eine Reihe von Grundwassermessstellen der HGW durch die Modellsimulation nicht erreicht wurde. Die Gründe für Letzteres können sein:

a) einzelne zwangsläufig bei der Modellierung zu treffende Annahmen (z. B. hinsichtlich der Struktur oder der Grundwasserneubildung) sind örtlich nicht richtig,
b) benutzte Daten (z. B. Grundwasserstandsmessungen) sind fehlerbehaftet,
c) Eingabefehler bei der Modellierung (Bei dem äußerst großen Umfang der verwendeten Daten ist so etwas natürlich nie ganz auszuschließen.),
d) temporäre künstliche Aufhöhungen des Grundwassers durch Einleitungen oder andere Einflüsse in der Vergangenheit, z. B. Wiederversickerung von gehobenem Grundwasser bei Wasserhaltungsnahmen oder extreme Spiegelanhebungen der Vorflutgewässer, die entweder zukünftig nicht zu erwarten sind oder die einer wasserbehördlichen Erlaubnis nach Prüfung ihrer Verträglichkeit auf das weitere Umfeld bedürfen; solche erhöhten Grundwasserstände fallen nicht unter die zeHGW-Definition und sind daher nicht auf der zeHGW-Karte zu berücksichtigen und
e) einer Kombination mehrerer Ursachen.

Nur im Fall d) ist die Überschreitung des berechneten Wertes durch den HGW richtig und nicht im Widerspruch zum zeHGW-Modell.

Es folgte eine – im Übrigen sehr zeitaufwändige – Plausibilitätsprüfung der modellberechneten Grundwasserhöhenverteilung, vor allem natürlich dort, wo Überschreitungen durch die gemessenen Grundwasserstände festgestellt wurden. Ausgangspunkt hierfür war in der Regel eine Analyse der Grundwasserganglinien am Ort der Abweichung aber auch in dessen Umgebung. Ferner wurde eine Vielzahl von unterschiedlichen Daten auf mögliche Fehler überprüft. Dabei zeigten sich tatsächlich einige eindeutige Fehler (z. B. bei den Grundwasserstandsdaten, bezogen auf den Gesamtumfang dieser Daten jedoch nur recht wenige). Relativ viele Überschreitungen des modellberechneten zeHGW durch in der Vergangenheit gemessene Grundwasserstände konnten jedoch dem Punkt d) zugeordnet werden.

Dazu folgendes Beispiel:
Der Anfang des 20. Jahrhunderts gebaute Teltowkanal dient nicht zuletzt der Entwässerung der südlichen Teltow-Hochfläche und führt das Wasser Richtung Unterhavel ab. Im Zweiten Weltkrieg, vor allem gegen Ende des Krieges im Frühjahr 1945, sind fast alle Brücken über den Teltowkanal zerstört worden. Die in den Kanal gestürzten Trümmer führten zu einer Querschnittseinengung und damit zu einer Anhebung des Kanalspiegels, was dann eine Anhebung des Grundwassers in der weiteren Umgebung zur Folge hatte. Da es etliche Jahre dauerte, bis die Trümmer, u. a. auch gesunkene Schiffe, beseitigt wurden, stellte sich meist erst in den frühen 1950er Jahren der normale Kanalspiegel und damit normale Grundwasserstand wieder ein. Als Beispiel für eine solche Überschreitung zeigt die Ganglinie der Grundwassermessstelle 710 in Berlin-Zehlendorf, deren HGW im September 1950 registriert wurde (Abb. 7). Der zeHGW wird hier zwar überschritten, was aber durchaus richtig ist, da mit einer Wiederholung der Situation, die den HGW hervorgerufen hat, nicht nur nicht zu rechnen ist, sondern sie auch gar nicht möglich ist.

Nachdem HGW-Werte, die zwar über dem modellberechneten zeHGW lagen, aber als nicht zu berücksichtigend erkannt und aus dem Modell als Vergleichswerte entfernt worden waren, blieben noch einige Grundwassermessstellen übrig, an denen der Modellwert unter dem HGW lag, ohne dass dafür plausible Gründe zu erkennen waren. Diese Bereiche wurden als Mängel im Modell beurteilt. Im Rahmen einer Nachkalibrierung des Modells durch örtliche Änderung der z. T. geschätzten Durchlässigkeits- oder Grundwasserneubildungsverteilung, z. T. auch der lokalen Vorflutbedingungen gelang es, auch diese gemessenen HGW durch die berechnete Potenzialverteilung abzudecken. Lediglich an einer Stelle mit unklarer hydrogeologischer Situation wurde das nicht erreicht, weshalb in der Kartendarstellung dort aus Sicherheitsgründen ein entsprechend der Grundwasserstandsdaten abgeschätzter zeHGW angegeben ist.

Das Diagramm der Abbildung 8 lässt erkennen, dass die berechnete Potenzialhöhenverteilung nach Abschluss der Nachkalibrierung sämtliche zu berücksichtigende gemessene höchste Grundwasserstände abdeckt: Alle für die Grundwassermessstellen stehenden Punkte, differenziert nach ihrer Filterlage in den einzelnen Modellschichten, liegen links oberhalb der durchgezogenen blauen Linie (zeHGW = HGW). Der eingangs erwähnte Umstand, dass die Grundwasserbeobachtung innerhalb der durch die Wasserwerke erzeugten Senktrichter meist erst nach Beginn der Grundwasserförderung aufgenommen wurde, zeigt sich im Diagramm dadurch, dass viele Punkte weit oberhalb der Linie zeHGW = HGW liegen: Der gemessene höchste Grundwasserstand ist an diesen Messstellen nicht natürlich, sondern durch die Grundwasserentnahmen mitunter sehr stark beeinflusst.

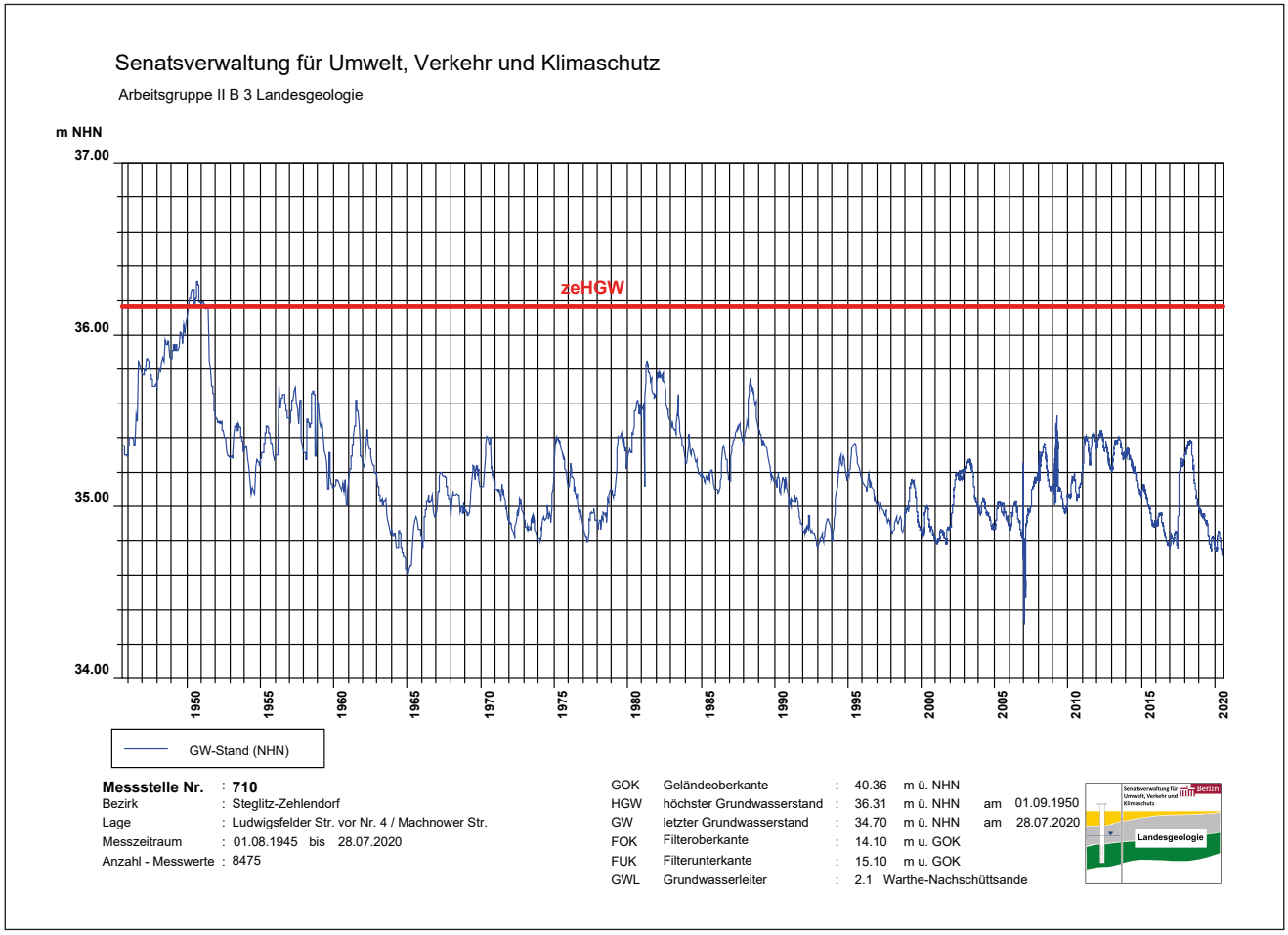

Abb. 7: Ganglinie der Grundwassermessstelle 710 mit eingetragenem zeHGW.
Fig. 7: Groundwater hydrograph of the observation well 710 with marked exp. HGWL.

Die Grundwasserpotenzialverteilung der obersten Modellschicht (L 1), dargestellt durch Linien gleicher Grundwasserpotenzialhöhe, konnte damit als Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes verwendet werden.

4 Kartenbeschreibung

Die zeHGW-Karte für die Teltow-Hochfläche und die Nauener Platte wurde mit der bereits vorhandenen Karte für das Urstromtal und das Panketal zusammengeführt und im Jahr 2018 als Grundwasserhöhenlinien in Metern über NHN im Abstand von 0,1 m im Internet veröffentlicht. Für den bereits in der Abb. 3 für den aktuellen Zustand im Mai 2018 gewählten Ausschnitt ist der zeHGW in vereinfachter Form in der Abb. 9 als Grundwassergleichen im Abstand von 0,5 m dargestellt. Die Vorflutwirkung von Spree und insbesondere der Havel sind wieder gut erkennbar. Erwartungsgemäß zeigen sich aber erheblich höhere Grundwasserstände und ein deutliches geringeres Grundwassergefälle. Im Unterschied zur Situation vom Mai 2018 fehlen die ausgedehnten Absenktrichter im Bereich der Fördergalerien der Wasserwerke, womit das plausible Ergebnis der zeHGW-Karte bestätigt wird.

Bei der Nutzung der zeHGW-Karte ist zu berücksichtigen, dass im Urstromtal und im Panketal überwiegend ungespannte Verhältnisse im oberen Grundwasserleiter vorherrschen, d. h. in der Karte wird zumeist die Höhe der Grundwasseroberfläche abgebildet. In gespannten Bereichen, die häufig auf der Teltow-Hochfläche und Nauener Platte anzutreffen sind, wird dagegen die Druckfläche des Hauptgrundwasserleiters dargestellt. Hier kann sich über den bindigen Deckschichten lokal und ggf. auch nur temporär oberflächennahes, im Allgemeinen als Schichtenwasser bezeichnetes Grundwasser bilden, das insbesondere bei bautechnischen Fragen zusätzlich von Bedeutung ist. Auf die Verantwortlichkeit des Bauherrn, seiner Planer und geotechnischen Sachverständigen, den zeHGW in Bezug auf das geplante Vorhaben sachgerecht zu berücksichtigen, ist in diesem Zusammenhang bereits vielfach hingewiesen worden.

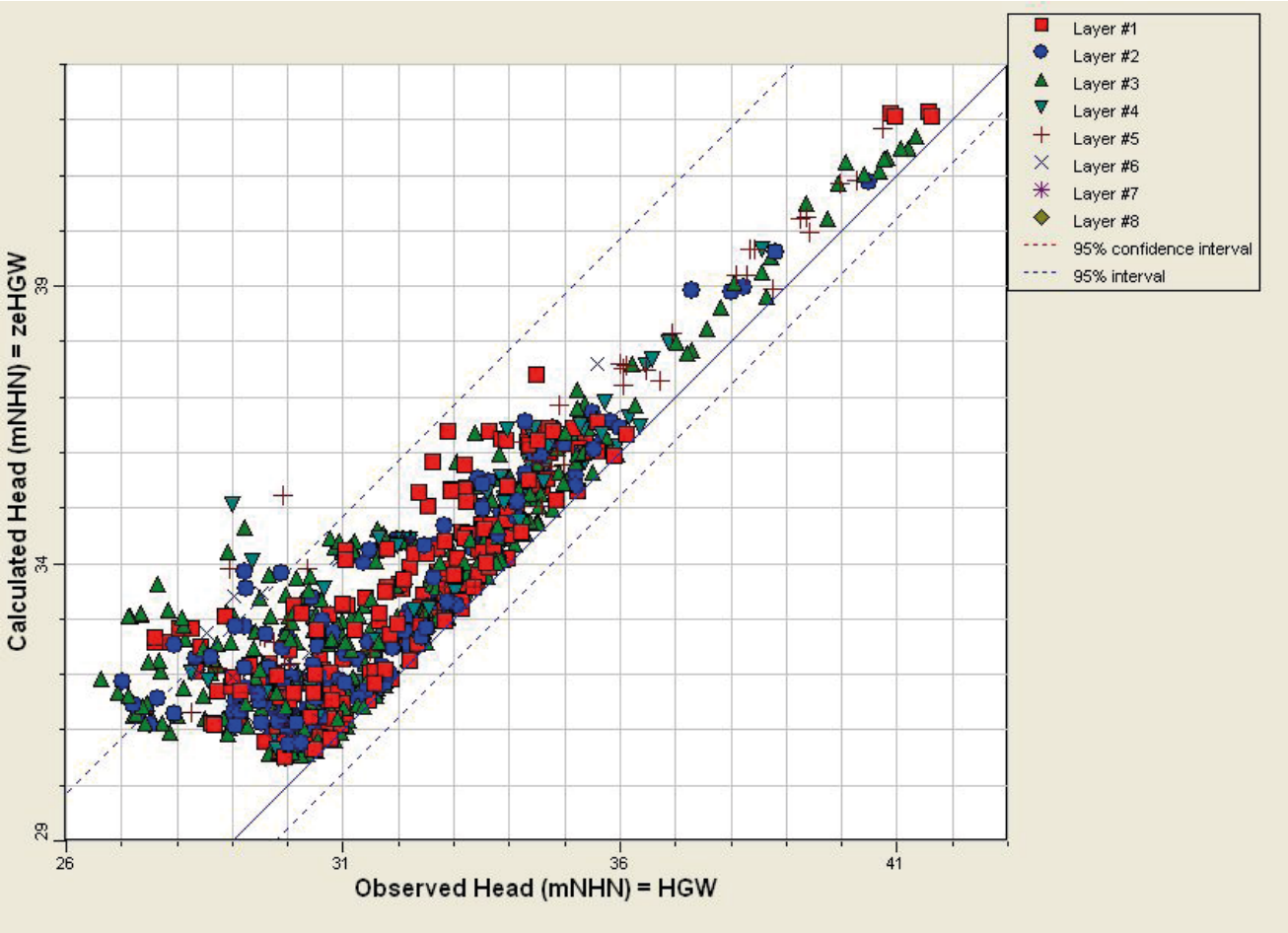

Abb. 8: Zusammenhang zwischen dem beobachteten HGW und dem modellierten zeHGW (911 Grundwassermessstellen, verfiltert in den Modellschichten L 1 bis L 6) nach Abschluss der Modellkalibrierung.

Fig. 8: Correlation between the observed HGWL and the modeled exp. HGWL after completion of the calibration (911 observation wells with well screens in the layers L 1 to L 6).

5 Ausblick

Mit der Erweiterung um die Teltow-Hochfläche und die Nauener Platte im Jahr 2018 deckt die online verfügbare Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes nun etwa drei Viertel der Fläche Berlins ab. Damit ist die Arbeitsgruppe Landesgeologie dem Ziel, flächenhaft eine qualifizierte Information zum zeHGW des Panketalgrundwasserleiters und des Hauptgrundwasserleiters für das Land Berlin zu erarbeiten und als Serviceleistung inklusive ausführlicher Erläuterung online gebührenfrei bereit zu stellen, sehr erfolgreich nahegekommen. Die noch fehlende zeHGW-Karte für die nordöstlich des Urstromtales anschließenden Barnim-Hochfläche ist bereits im internen Prüfungsprozess, so dass zukünftig das gesamte Land Berlin abgedeckt werden kann.

In diesem Zusammenhang ist auf einen relevanten Synergieeffekt für den Datenbestand der Arbeitsgruppe einerseits hinzuweisen, denn durch die umfangreichen Aufarbeitungen insbesondere der Informationen zu den Grundwasserständen wurde eine systematische Prüfung und ggf. Korrektur der Datenbasis des Landesgrundwasserdienstes realisiert. Andererseits wird durch die ausführliche Interpretation von Aufschluss- und Messdaten das Verständnis für die hydrogeologischen Strukturen aktualisiert.

Selbstverständlich ist, dass die zeHGW-Karte fortlaufend mit den Ergebnissen der Grundwasserdatenbank abgeglichen und entsprechend neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse geprüft wird. Dadurch können beispielsweise Änderungen der geohydraulischen Randbedingungen infolge des Klimawandels berücksichtigt werden und die Notwendigkeit einer Aktualisierung der Karte erkannt werden.

Zusammenfassung

Die Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes (zeHGW), die insbesondere für das Bauwesen eine relevante Planungsgrundlage darstellt, wurde um die südwestlich des Panketals und Urstromtales anschließende Teltow-Hochfläche und Nauener Platte erweitert. Das bereits für die zeHGW-Karte des Urstromtals eingesetzte numerische

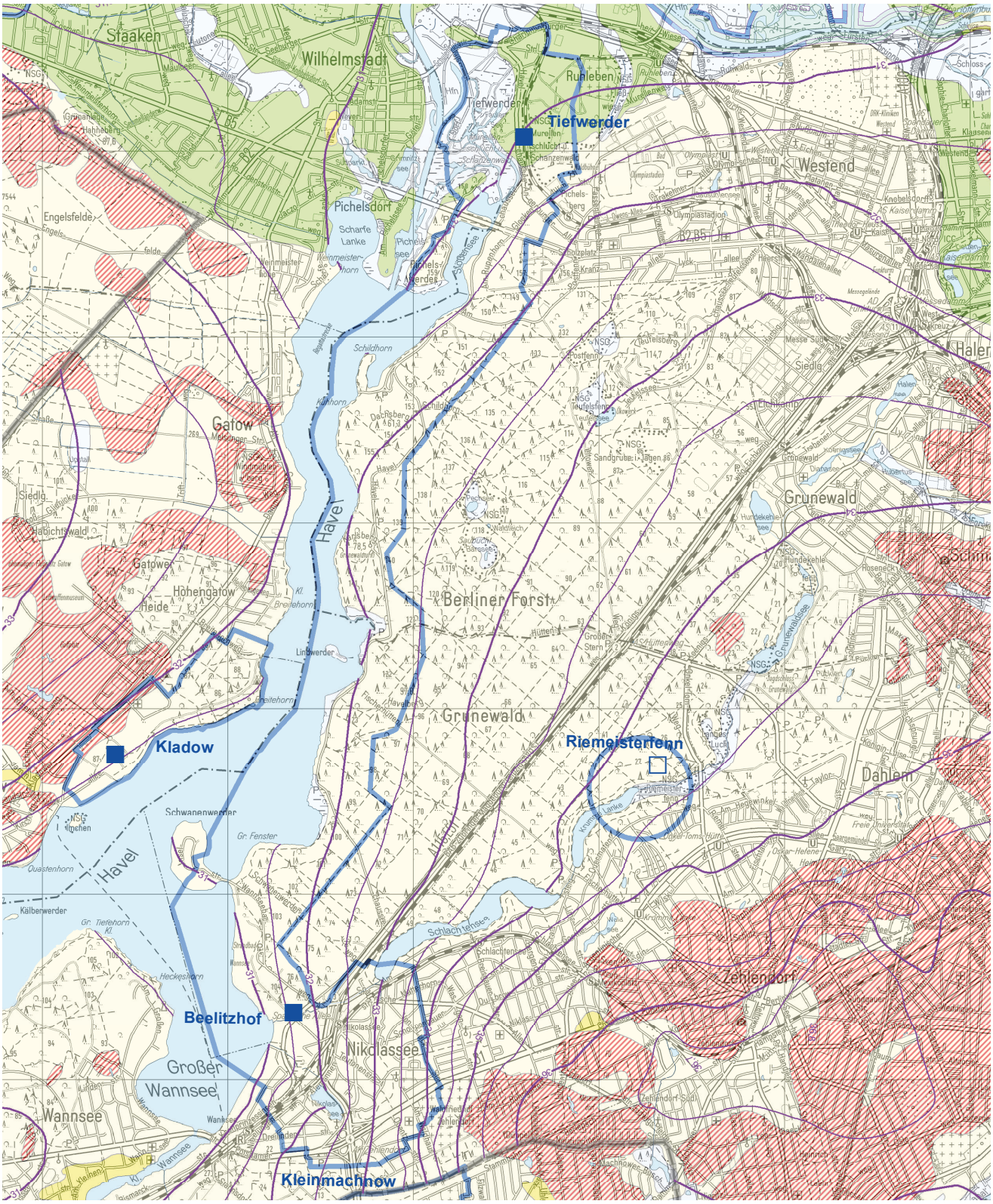

Abb. 9: Ausschnitt aus der zeHGW-Karte. Violett sind die Grundwassergleichen des Hauptgrundwasserleiters in m ü NHN und als blaue Quadrate sind die Standorte der Wasserwerke dargestellt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2018). Hintergrundkarte ist die geologische Skizze (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2013).

Fig. 9: Section of the map of the exp. HGWL. The groundwater isolines of the main aquifer in m a. s. l. are coloured violet. The locations of the waterworks are represented as blue squares (Senate Department for Urban Development and Housing 2018). The background map shows the geological outline (Senate Department for Urban Development and Housing 2013).

Grundwasserströmungsmodell wurde hierzu entsprechend der differenzierteren hydrogeologischen Struktur der Hochfläche vertikal in acht Layer untergliedert, kalibriert und verifiziert. Unter Berücksichtigung erhöhter Grundwasserneubildungsraten, erhöhter Pegelstände der Oberflächengewässer und des Sachverhaltes, dass weder Grundwasserentnahmen noch -einleitungen stattfinden, wurden die Grundwasserpotenzialhöhen berechnet. Nach einer intensiven Plausibilitätsprüfung erfolgte eine Zusammenführung mit der bereits vorhandenen zeHGW-Karte und Veröffentlichung als aktualisierte Serviceleistung der Berliner Landesgeologie 2018 im Internet. Während in den Bereichen mit z. T. intensiver Grundwasserbewirtschaftung für die Trinkwassergewinnung bisher nur Informationen zu gemessenen, anthropogen beeinflussten Grundwasserständen erteilt wurden, ist mit den Aussagen zu den modellberechneten Grundwasserständen nun auch im Bereich der großräumigen Absenktrichter der Wasserwerke auf der Teltow-Hochfläche und Nauener Platte ein erheblicher Qualitätszuwachs der Informationen gegeben.

Summary

The map of the expected highest groundwater level (exp. HGWL) which provides important information for the building and construction industry was now extended in the Southwest of the Panke Valley and Berlin Glacial Valley by the area of the Teltow Plateau and the Nauen Plateau. For this purpose a mathematical model of the groundwater flow, previously used for the calculation of the map of the exp. HGWL of the Berlin Glacial valley, was taken. According to the more varied hydrogeological structures of the Plateau the model was subdivided into eight layers, calibrated and validated. The groundwater level was calculated taking into account an increased groundwater recharge, increased levels of the surface waters and the situation that no groundwater extraction and discharge happens. After a detailed validity check the created and the existing maps were joined and the result was published on the internet in 2018 as a service of the Berlin Geological Survey. So far, in areas with partly strong groundwater management there was only detailed information given about the measured, anthropogenically influenced groundwater levels. Now the model calculated groundwater levels manifest a significant increase of quality of our information especially referring to the areas of the great drawdown cones of the waterworks.

Literatur

BWK, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e. V. (2009): Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes für Bauwerksabdichtungen. – BWK-Regelwerk, Merkblatt BWK-M8, Selbstverlag Sindelfingen

Hörmann, U. & H. Verleger (2016): Eine Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes für das Panketal in Berlin. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 23, 1/2, S. 3-9

Limberg, A., Hörmann, U. & H. Verleger (2010): Modellentwicklung zur Berechnung des höchsten Grundwasserstandes im Land Berlin. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 17, 1/2, S. 23–37

Limberg, A., Hörmann, U. & H. Verleger (2015): Berlins Grundwasserauskünfte jetzt online. Eine Dienstleistung der Landesgeologie der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt für das Bauwesen. – Baukammer Berlin 3, S. 9–21

Limberg, A. & J. Thierbach (2002): Hydrostratigrafie von Berlin – Korrelation mit dem Norddeutschen Gliederungsschema. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 9 1/2, S. 65–68

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2013): Geologische Skizze (Ausgabe 2013), Karte 01.17, Umweltatlas Berlin. – https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i117.htm (abgerufen: 12.08.2020)

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2018): Zu erwartender höchster Grundwasserstand (zeHGW), (Ausgabe 2018), Karte 02.19, Umweltatlas Berlin. – https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i219.htm (abgerufen: 12.08.2020)

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2019): Grundwasserhöhen des Hauptgrundwasserleiters und des Panketalgrundwasserleiters, (Ausgabe 2018), Karte 02.12, Umweltatlas Berlin. – https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/din_212.htm (abgerufen: 12.08.2020)

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2020): Geologische Schnitte (Umweltatlas). - http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=wmsk_01_18_GeolSchnitte@senstadt (abgerufen 26.08.2020)

Anschrift der Autoren

Ulrike Hörmann
Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz
Landesgeologie
Brückenstr. 6, 10179 Berlin
ulrike.hoermann@senuvk.berlin.de

Prof. Dr. Hartmut Verleger
Büro für Hydrogeologie und Geotechnik
Niedstr. 21, 12159 Berlin
drverleger@aol.com