Stephan Hannappel und Winfried Riek

Berechnung des Flurabstandes des oberflächennahen Grundwassers der Waldfläche Brandenburgs für hydrologisch typische Zeiträume

Computation of the depth to shallow groundwater tables in the forest areas of Brandenburg for typical hydrological periods

Für die Waldfläche Brandenburgs wurde innerhalb von Gebieten mit ungespanntem und oberflächennahem Grundwasser der Flurabstand als Differenz der Grundwasserdruckfläche zur Geländeoberfläche berechnet. Besondere Aufmerksamkeit wurde der digitalen Aufbereitung der Datenbasis gewidmet, um die Arbeiten fachlich nachvollziehbar und für spätere Zeitpunkte mit verbesserten oder aktualisierten Datengrundlagen reproduzierbar zu gestalten. Die Grundwasserflurabstände wurden für vier hydrologisch typische Zeiträume berechnet, an denen in der Vergangenheit in Brandenburg jeweils Hoch- bzw. Niedrigwasserverhältnisse bestanden. Neben terminbezogen gemessenen Grundwasserständen und Pegelständen der oberirdischen Gewässer wurden in großem Umfang auch weitere Wasserstände in die Bearbeitung integriert, die auf die gesuchten Zeiträume mittels eines statistischen Verfahrens transformiert wurden. Die Ergebnisse fließen in ein Verbundvorhaben am Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde ein, wo sie der Bearbeitung forstökologischer und waldbaulicher Fragestellungen dienen sollen.

Schlagwörter: Geländehöhenmodell, Geostatistik, gespanntes Grundwasser, Grundwasserflurabstand, Regionalisierung, Waldfläche

The depth to shallow groundwater tables in the forest areas of the state of Brandenburg was computed within areas of unconfined groundwater as the difference between the groundwater level and the ground-surface level. Special attention had been dedicated to the digital processing of the data in order to make the investigations technically comprehensible and reproducible for future uses with better or updated data. The depth to the groundwater table was computed in four typical hydrologic reference periods when flood or low water had prevailed. In addition to fixed-day measurements of groundwater and surface water levels, other water-level data were also integrated in the analysis and were related to the reference periods by statistical methods. The results are used in an interdisciplinary project of the Eberswalde Forestry Competence Centre, where they are used to solve forest-ecological and sylvicultural problems.

Keywords: Depth to groundwater table, digital elevation model, forest area, geostatistics, groundwater tension, regionalisation

1 Einleitung

Ziel der Untersuchungen war es, die Grundwasserflurabstände des oberflächennahen und ungespannten Grundwassers in Brandenburg für die forstlich genutzten Flächen unter Berücksichtigung klimatischer Einflüsse zu ermitteln, um damit forstökologische Fragestellungen zukünftig optimal bearbeiten zu können. Für die gesamte Landesfläche Brandenburgs wurde davon ausgegangen, dass das oberflächennahe Grundwasser innerhalb der Lockergesteine des nordostdeutschen Tieflandes hydraulisch großräumig verbunden ist.

Die Arbeiten wurden im Auftrag des Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde durchgeführt, wo entsprechende Angaben für die Wasserhaushaltsmodellierung und Neuordnung der Forstlichen Wuchsgebiete Brandenburgs benötigt werden. Sie sind dort eingebunden in das Projekt „Regionalisierung standortsbezogener Kennwerte unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien zur Ableitung dynamischer Wuchsräume“ (RIEK 2010).

Die Kenntnis der Grundwasserflurabstände ist forstökologisch von großer Bedeutung. Sie ermöglicht z.B. eine Einschätzung, an welchen Standorten das Grundwasser Einfluss auf das Wachstum und die Vitalität der Bestände hat. Dieser Einfluss hängt von der artspezifischen Durchwurzelungstiefe der Vegetation und vom kapillaren Aufstiegsvermögen als Funktion der physikalischen Bodeneigenschaften und somit maßgeblich von der Bodenart ab (RIEK 2001). Der sog. Grenzflurabstand, bei dem Grundwasser – je nach Baumart – für die Pflanze nutzbar ist, kann bis zu vier Meter betragen. Vor allem in Feuchtbiotopen ist die Vegetation in ihrem Wasserbedarf auf die kontinuierliche und weitgehend gleich bleibende Nachlieferung aus dem Grundwasser angewiesen. Der Terminbezug ist bei der Ermittlung des Flurabstandes ebenso wie bei der Bestimmung der Grundwasseroberfläche eine unverzichtbare Größe, da das Grundwasser in Brandenburg klimatisch bedingt saisonal um mehrere Dezimeter bis Meter schwanken kann.

Zum Verständnis und zur Einordnung der Arbeiten innerhalb des norddeutschen Lockergesteinsgebietes wird darauf verwiesen, dass der Flurabstand des Grundwassers nach DIN 4049 der lotrechte Höhenunterschied zwischen der Geländeoberkante und der Grundwasseroberfläche des obersten Grundwasserleiters ist. Wird der Grundwasserleiter von schlecht durchlässigen, bindigen Schichten (Grundwasserhemmern wie z.B. Geschiebemergel) derart überlagert, dass das Grundwasser nicht so hoch ansteigen kann, wie es seinem hydrostatischen Druck entspricht, liegt gespanntes Grundwasser vor. Hier ist der Grundwasserflurabstand (im Folgenden vereinfacht: Flurabstand) der lotrechte Höhenunterschied zwischen der Geländeoberkante und der Unterkante des grundwasserhemmenden Geschiebemergels, der den Grundwasserleiter überlagert (HANNAPPEL & LIMBERG 2007). Diese Gebiete wurden von der Bearbeitung ausgenommen (s. Kap. 3), da die bedeckten und gespannten Grundwasserleiter nicht zur Wasserversorgung der Bäume beitragen können.

2 Bezugsflächen zur Bestimmung des Grundwasserflurabstandes

2.1 Waldfläche

In Brandenburg sind derzeit etwa 37 % der 29.640 km² Landesfläche mit Wald bedeckt. Diese insgesamt bearbeitete, etwa 10.917 km² große Waldfläche ist in sehr unregelmäßigen Clustern und mit einer großen räumlichen Heterogenität über die gesamte Landesfläche verteilt (s. Abb. 3). Die Berechnung der Flurabstände für die Waldfläche erfolgte rasterpunktbezogen. Hierzu wurden diejenigen Punkte im 100 x 100 m-Raster ermittelt, für welche auf der Forstgrundkarte der Landesforstverwaltung Holzbodenfläche ausgewiesen ist. Die kartografische Darstellung in Abbildung 3 basiert auf diesem Raster aller im Wald liegenden Punkte. Nicht alle waldbedeckten Einzelflächen sind in der Karte aufgrund der komprimierten Darstellung erkennbar. Umgekehrt erscheinen viele der grün dargestellten Waldflächen als zusammenhängende Areale, obwohl sie in der Natur von mehr oder weniger großen Nichtholzbodenflächen umgeben sind.

2.2 Geländeoberfläche

Als digitales Geländehöhenmodell wurde das im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) Brandenburg optimierte DGM 25 der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg verwendet (SCILANDS 2007). Der Abstand der Gitterpunkte beträgt hier 25 m. Das DGM 25 wurde durch Digitalisierung von Höhenlinien, markanten Höhenpunkten, Uferlinien und Böschungen sowie durch photogrammetrische Stereoauswertung von Luftbildern erstellt. Ziel der Optimierung des DGM 25 war es, den Qualitätsanforderungen einer bodenkundlich orientierten Reliefanalyse gerecht zu werden. Wegen der relativ geringen Informationsdichte der ursprünglichen Höhendaten wurden viele real vorhandene Reliefdetails nicht abgebildet. Hier wurde das DGM 25 durch ein DGM aus Laserhöhenmessungen ersetzt. Diese weisen die höchste Qualität auf. Die in den übrigen Gebieten vorhandenen Probleme (Rundung der Höhenwerte auf 0,1 m, Pseudoterrassen, Dreiecksfazetten, anthropogene Reliefformen usw.) wurden zumeist beseitigt. Abbildung 1 zeigt in Form einer Übersichtskarte die Höhenwerte, die als Eingangsdaten zur Ermittlung des Flurabstandes verwendet wurden. Deutlich erkennbar sind die ausgeprägten Niederungsgebiete im Osten des Landes (Oderbruch, Berliner Urstromtal) mit Höhen von 30 m ü. NN und weniger sowie morphologische Höhenzüge im Südwesten, z.B. Hoher Fläming, Lausitzer Grenzwall.

Die Höhengenauigkeit des DGM 25 liegt unterhalb von -1 bis 3 Meter. Die größeren Ungenauigkeiten liegen im Bereich hügeligen Reliefs vor, in denen fast immer auch höhere Flurabstände des Grundwassers zu erwarten sind. In den Niederungen hingegen mit oberflächennah anstehendem Grundwasserstand ist die Höhengenauigkeit des DGM 25 besser. Die Genauigkeit des DGM bestimmt maßgebend die Qualität des zu berechnenden Flurabstandes, da die Geländemorphologie deutlich kleinräumigeren Schwankungen ausgesetzt ist als die Grundwasserdruckfläche.

2.3 Gebiete mit gespanntem oberflächennahem Grundwasser

Die flächendeckende digitale Ermittlung von Gebieten mit gespanntem Grundwasser in Brandenburg war notwendig, da diese Information nicht vorlag. Die derzeit von der Landesgeologie durchgeführte und digital verfügbare hydrogeologische Kartierung im Maßstab 1:50 000 (LBGR 2009) enthält diese Informationen zwar, ist aber aktuell nur für etwa die Hälfte der Landesfläche abgeschlossen.

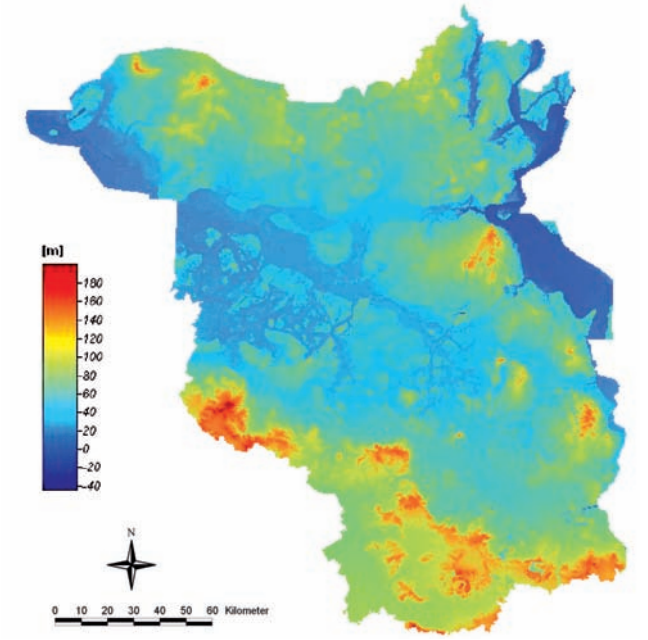

Abbildung 1
Übersichtskarte des Geländehöhenmodells DGM 25 in Brandenburg
Survey map of the digital elevation model DGM 25 of Brandenburg

Ersatzweise wurden daher digital verfügbare und vom LBGR übergebene Daten der „Karte der Grundwassergefährdung" (VOIGT 1987) herangezogen. Als gespannt ausgewählt wurden zunächst alle in dieser Karte dargestellten Flächen mit Ausnahme der dunkelgrün markierten Einheit. Dies geschah, um in diesen Bereichen mit geringen Flurabständen die aktuell ermittelten Informationen berücksichtigen zu können. In allen übrigen Gebieten kann mit großer Wahrscheinlichkeit von gespanntem flurfernem Grundwasser unter Deckschichten ausgegangen werden, so dass dort die in Grundwassermessstellen gemessenen Wasserstände nicht repräsentativ für den Flurabstand sind.

Vielmehr können dort Daten aus der Forstlichen Standortskarte wertvolle Informationen zu ggf. saisonal pflanzenverfügbarem Schichtenwasser liefern. Ergänzt wurden die in Abbildung 2 dokumentierten Informationen um Daten der aktuellen geologischen Übersichtskarte im Maßstab 1:300 000 (LGRB 1997), und zwar vor allem in den sog. Stauchungsgebieten. Das sind Stauchendmoränenbereiche, die anhand der geologischen Kartierung der vergangenen Jahre erkannt wurden.

Abbildung 2 zeigt das resultierende Bild der rot schraffierten Gebiete mit gespanntem Grundwasser zusammen mit den Waldflächen (grün), die im Vergleich zur Gesamtfläche des Landes Brandenburg leicht unterrepräsentiert gespannte Gebiete aufweisen, z.B. in der intensiv landwirtschaftlich genutzten Uckermark im Nordosten des Landes mit vorwiegender Grundmoränenbildung an der Erdoberfläche. Insgesamt ergibt sich eine Fläche von 11.302 km² mit gespanntem Grundwasser, das sind 38 % der Landesfläche und 31 % der gesamten Waldfläche. Es verbleiben also 69 % der Waldfläche für die rasterpunktbezogene Berechnung des Flurabstandes.

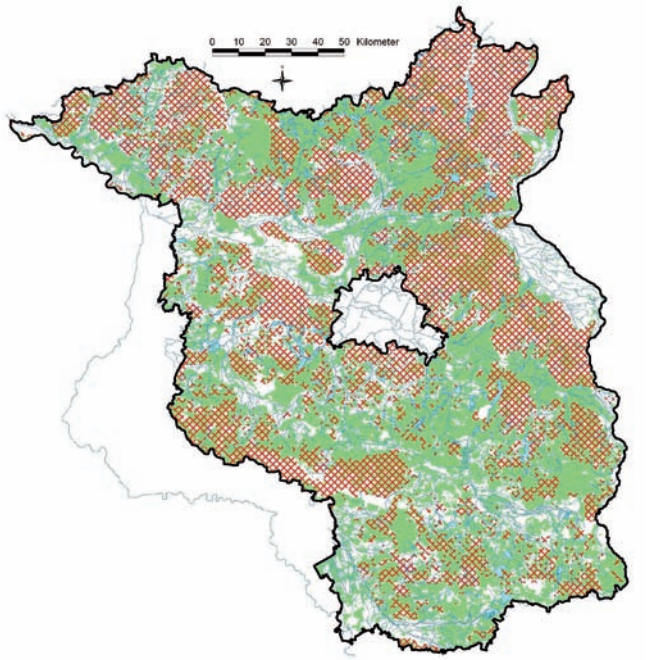

Abbildung 2
Gebiete mit gespanntem Grundwasser (rot schraffiert) innerhalb und außerhalb der Waldflächen
Areas with confined groundwater within and outside of forest areas

3 Datenbasis und Methodik zur Ermittlung des Flurabstandes

3.1 Terminbezogen gemessene Wasserstände des Grundwassers und von oberirdischen Gewässern

Wichtigste Datenbasis zunächst zur Konstruktion der Grundwassergleichen waren die Grundwassermessstellen des Landesumweltamtes (LUA), da nicht nur einmalige, sondern turnusmäßig aus z.T. sehr langen Zeiträumen erhobene Messwerte vorliegen. Hierdurch steigt die Plausibilität der Messwerte im Vergleich zu Einzelmessungen, wenn auch die z.T. technologisch bedingten Nachteile der Verwendung von älteren Grundwasserständen in Kauf genommen werden müssen.

Mit den Daten kann außerdem eine Abschätzung langfristig wirksamer Trends der Grundwasserstände vorgenommen werden (s. Kap. 3.3). Zudem liegen fast immer relativ zuverlässige Stammdaten vor, die eine Selektion aufgrund der Tiefe des Filterausbaus ermöglichen. Alle Messwerte von Messstellen, die tiefer als 50 Meter unter GOK verfiltert sind, wurden verworfen. Insgesamt sind es ca. 4.900 über das ganze Land verteilte Messstellen (s. Abb. 3). Etwa 2.500 davon werden noch aktuell gemessen. Die Messwerte der übrigen ca. 2.400 sog. Archivmessstellen wurden gleichberechtigt für die Bearbeitung herangezogen. Hier musste eine Transformation der terminbezogenen vorliegenden Messwerte auf die gewünschten Stichzeiträume, für die der Flurabstand bestimmt werden sollte, durchgeführt werden (s. Kap. 3.3). Ohne diese Transformation wäre die Datengrundlage für die geostatistische Regionalisierung wesentlich geringer ausgefallen.

Die Datenbasis beinhaltete außerdem Messwerte aus unterschiedlichen Tiefen des betreffenden Grundwasserleiters am Standort, also einem sog. Mehrfachausbau. An diesen etwa 300 Standorten wurde immer der Messwert übernommen, der sich auf die oberste Filterstrecke bezieht. Bedeutung hat dies vor allem bei einem heterogenen Untergrundaufbau mit Wechsellagerungen von rolligen und bindigen Schichten. Aber auch bei mächtigen und relativ homogenen Grundwasserleitern wurden jeweils die Messwerte verwendet, die sich auf die oberste Filterstrecke beziehen.

Wasserstände oberirdischer Gewässer wurden ebenso genutzt. Die Voraussetzung zur Berücksichtigung der Pegelmesswerte für die Ermittlung des Flurabstandes ist der hydraulische Kontakt – ob influent oder effluent – an der Uferlinie, also dem Kontaktsaum zwischen Grundwasser und den oberirdischen Gewässern. Dieser ist bei ungespanntem Grundwasser für den oberen Grundwasserleiterkomplex in Brandenburg (MANHENKE et al. 1995) immer gegeben. Nur in Gebieten mit gespanntem Grundwasser fließen die oberirdischen Gewässer ohne hydraulischen Kontakt zum Grundwasser auf den bindigen Substraten.

Vom LUA wurden die Stamm- und Messdaten der Pegel an den oberirdischen Gewässern digital zur Verfügung gestellt. Die Wasserstände von 428 regelmäßig beobachteten Pegeln gingen in die Auswertung ein. Im Falle von Mehrfachmessungen an einem Standort (Ober- bzw. Unterpegel) wurden die Mittelwerte berechnet. Die Bedeutung der Pegelmesswerte liegt vor allem in ihrer Verwendbarkeit zur Transformation der nicht terminbezogenen Wasserstände aus topografischen Karten (s. Kap. 3.2).

3.2 Ergänzende stützstellenbezogene Informationen

Ergänzend zu den terminbezogen gemessenen Wasserständen der oberirdischen Gewässer wurden vor dem Hintergrund ihrer räumlichen Bedeutung für die anschließende Regionalisierung mit geostatistischen Werkzeugen Wasserstände, die aus der to-

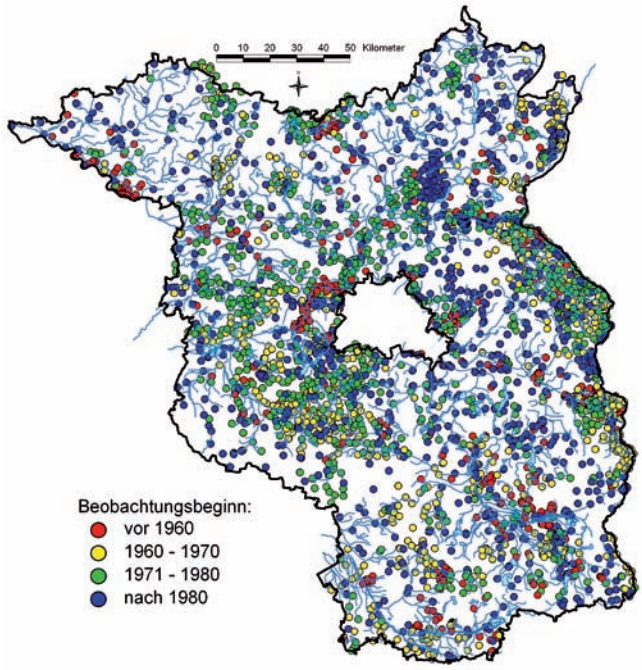

Abbildung 3
Beobachtungsbeginn für die Grundwassermessstellen des LUA Brandenburg
Beginning of measurements at the monitoring stations of LUA Brandenburg

pografischen Karte im Maßstab 1:10 000 (TK 10) abgeleitet wurden, verwendet. Das sind langfristige Mittelwasserstände, die dementsprechend transformiert werden mussten (s. Kap. 3.3).

Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt mit ausschließlich digitalisierten Gewässerhöhenpunkten, der mehrere Abschnitte von ineinander mündenden oberirdischen Gewässern enthält. Erkennbar ist, dass auch Punkte in die Nähe kleinerer Standgewässer aus der TK 10 gesetzt werden konnten. Alle Gewässerhöhenpunkte wurden auf ihre hydraulische Plausibilität und Verwendbarkeit im regionalen Zusammenhang mit benachbarten Grundwasserstandsdaten bzw. Grundwassergleichenlinien geprüft.

Zusätzlich wurden weitere Informationen zur Ermittlung der Grundwassergleichen bei verschiedenen Institutionen mit einbezogen (s. Übersicht in Kap. 4.1):

- terminbezogen gemessene Grundwasserstände von Messstellen der Senatsverwaltung in Berlin zur Stützung des Berechnungsergebnisses an der Landesgrenze zu Berlin
- terminbezogen gemessene Grundwasserstände von Messstellen des LUA im hydraulischen Einzugsbereich der Absenkungen in Folge des Braunkohlebergbaus in der Lausitz
- terminbezogen gemessene und transformierte Grundwasserstände von Messstellen einzelner Wasserversorgungsunternehmen in Brandenburg
- terminbezogen gemessene und transformierte Grundwasserstände von Messstellen im Zusammenhang mit Trinkwasserschutzzonen-Bemessungen
- terminbezogen gemessene und transformierte Grundwasserstände von Messstellen innerhalb des Biosphärenreservates Schorfheide
- terminbezogen gemessene und transformierte Grundwasserstände im Zusammenhang mit der Erstellung von Grundwassergleichenplänen in Teilbereichen des Landes
- Stützstellen, die aus einem landesweit, aber nicht stichtagsbezogen vorliegendem Grundwassergleichenplan des LBGR abgegriffen und lokal mit stichtagsbezogen in der Nähe vorliegenden Messwerten transformiert wurden.

3.3 Hydrologisch typische Zeiträume und Transformation von Messwerten

Die für die klimatischen Einflüsse typischen Zeiträume mit hydrologisch signifikant unterschiedlichem Verhalten wurden anhand einer statistischen Analyse auf Basis von Messreihen langjährig beobachteter Grundwassermessstellen ermittelt. Ausgewählt werden sollten zur Abdeckung der interannuellen (gesamtzeitraumbezogenen) bzw. intraannuellen (innerjährlichen) Schwankungsbreiten jeweils Trocken- und Feuchtzeiträume mit zu erwartenden minimalen bzw. maximalen Flurabständen. Darauf aufbauend wurden die sog. Stichzeiträume zur Ermittlung des Flurabstandes festgelegt.

Datenbasis hierfür waren die Zeitreihen der gemessenen Grundwasserstände der LUA-Messstellen, da zu ihnen aus einem z.T. sehr langen Zeitraum Messwerte vorliegen (s. Abb. 4). Um die in den verschiedenen Regionen und Höhenlagen des Landes gemessenen Grundwasserstände untereinander vergleichen und in Beziehung setzen zu können, war es notwendig, eine höhenunabhängige Standardisierung der Messwerte vorzunehmen. Erst mit diesen Werten kann das Ziel der Identifizierung von hydrologisch und klimatisch typischen Hoch- und Niedrigwasserzeiträumen erreicht werden.

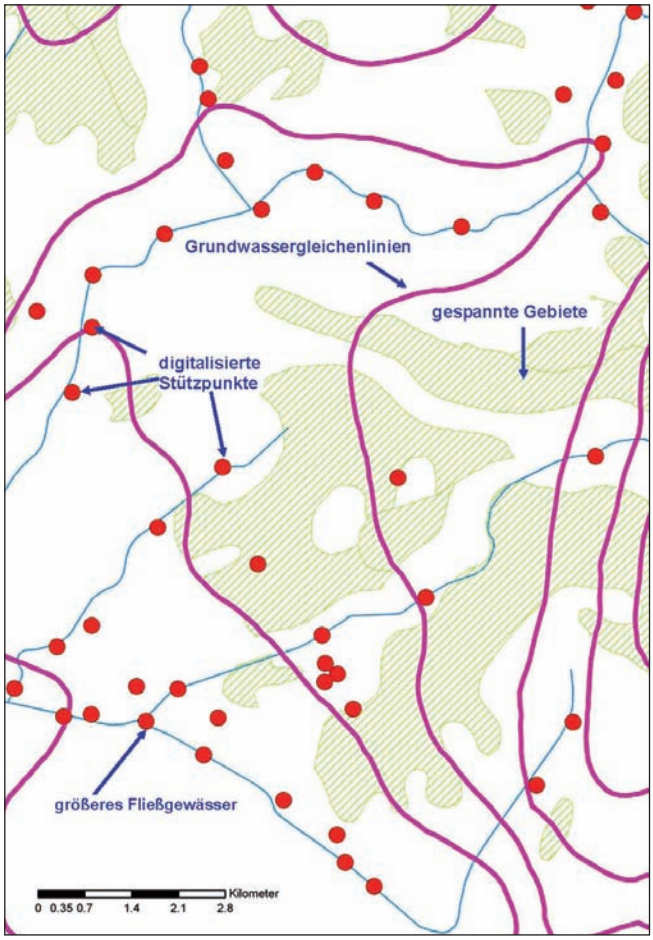

Abbildung 4
Schematische Darstellung der Digitalisierung von Stützstellen an oberirdischen Gewässern
Scheme of the digitized surface-water interpolation points

Dies erfolgte methodisch durch die doppelte Mittelwertbildung. Dazu wurde für jede Messstelle – unabhängig von der Länge der Messreihe – der arithmetische Mittelwert des Grundwasserstandes im absoluten Höhensystem (m ü. NN) ermittelt. Danach wurden von diesem Mittelwert die terminbezogen vorliegenden Messwerte subtrahiert. Abschließend werden alle in der Zeitreihe vorkommenden Tages- bzw. Terminwerte – also mindestens der 1., 8., 15. und 22. Tag des Monats – messstellenbezogen mit den Abweichungsbeträgen belegt und pro Termin von allen Messstellen der Mittelwert der Abweichungen ermittelt. Dieser gibt Auskunft darüber, wie sich die Grundwasserstände langfristig entwickelt haben.

Zur Festlegung der gesuchten Zeiträume wurden die Abweichungsbeträge von 759 Messstellen mit kompletten Messwerten von 1960 bis 2008 herangezogen. Abbildung 5 zeigt im zeitlichen Verlauf dazu die mittlere Ganglinie (blaue Kurve) sowie den linearen, statistisch allerdings nicht signifikanten, regional für Brandenburg typischen Trend (rote Linie) mit den hieraus abgeleiteten vier Zeiträumen. Tabelle 1 dokumentiert dazu die nach Niederung mit zumeist unbedeckten und Hochfläche mit zumeist bedeckten Grundwasserleitern differenzierten sowie die gesamten absoluten Abweichungsbeträge.

Im April 1970 lagen die Grundwasserstände 0,63 Meter oberhalb des langjährigen Mittels, die Unterschiede zwischen Niederun-

Tabelle 1
Abweichungen der typischen Stichzeiträume für Hoch- und Niedrigwasser
Deviations during the typical reference periods for flood and low water

Monatsbezogener Zeitraum	Klimatische bzw. hydrologische Charakteristik	Abweichungsbetrag Niederung	Abweichungsbetrag Hochfläche	Abweichungsbetrag gesamt
April 1970	Interannuelles Hochwasser	0,55 m	0,66 m	0,63 m
Oktober 2006	Interannuelles Niedrigwasser	-0,32 m	-0,42 m	-0,39 m
April 2008	Intraannuelles Hochwasser	0,30 m	0,10 m	0,16 m
Oktober 2008	Intraannuelles Niedrigwasser	-0,20 m	-0,26 m	-0,24 m

gen und Hochflächen sind im Vergleich dazu gering ausgeprägt. Die Festlegung dieses sehr lange zurück liegenden Zeitraumes als typisch für interannuelle (oder absolute) Grundwasserhöchststände führt zu dem Nachteil, dass der Anteil der zu diesem Zeitraum tatsächlich gemessenen Messwerte relativ gering und dementsprechend der Anteil der zu transformierenden Messwerte relativ hoch ist. Das führt zu Unsicherheiten, die jedoch aufgrund der Bedeutung der absoluten Grundwasserhöchststände für den Flurabstand mit entsprechend niedrigen Werten in Kauf genommen wurden.

Für die übrigen drei ermittelten Stichzeiträume gelten diese Nachteile nicht, da sie alle relativ aktuell und damit gut mit real gemessenen Wasserständen belegt sind. Im Oktober 2006 liegen die Grundwasserstände 0,39 Meter unterhalb des langjährigen Mittels, im Hochflächenbereich ist diese Differenz noch etwas deutlicher ausgeprägt. Die beiden aktuellen Zeiträume zur Untersuchung der intraannuellen Unterschiede (April und Oktober 2008) zeigen eine Schwankungsamplitude von durchschnittlich 0,40 Meter, das Hochwasser ist im April in den Niederungen deutlicher ausgeprägt als im Bereich der Hochflächen.

Die in Tabelle 1 für die vier Stichzeiträume dokumentierten Werte wurden als Korrekturfaktoren (Zu- bzw. Abschläge) zur hydrogeologisch – je nach Lage der Messstellen in den Niederungen oder auf den Hochflächen – differenzierten Transformation von Messwerten des Grundwasserstandes herangezogen, die zu jedem anderen Zeitpunkt zwischen 1970 und 2008 vorlagen. Hierdurch konnte eine methodisch akzeptable und erhebliche Erweiterung der Datenbasis in den nicht beobachteten Gebieten erreicht werden.

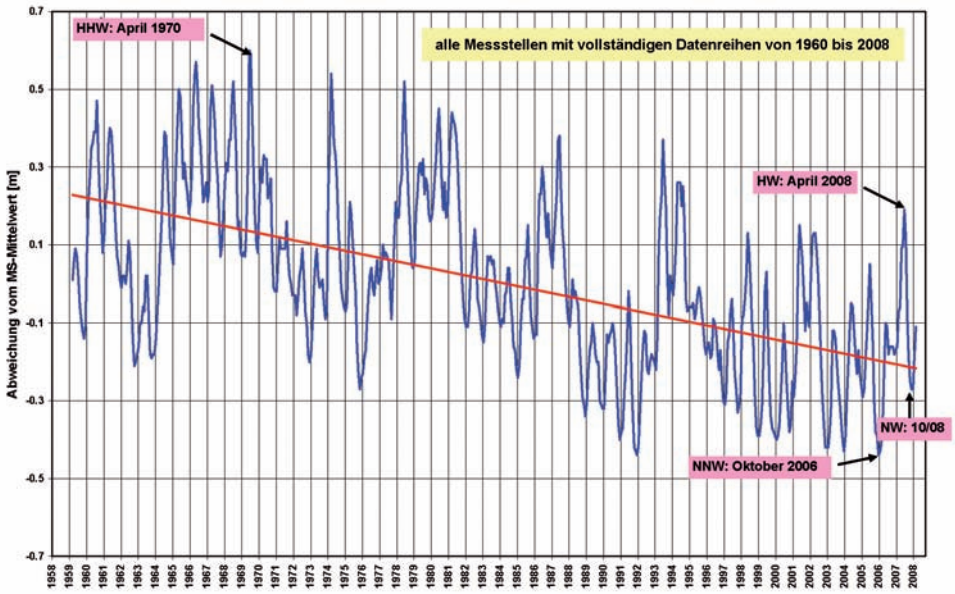

Abbildung 5
Identifizierung der typischen Stichzeiträume für Hoch- und Niedrigwasser
Identification of the typical reference periods for flood and low water

Wasserstände oberirdischer Gewässer, die nicht stichzeitraumbezogen vorlagen, mussten ebenfalls anhand von Korrekturfaktoren umgerechnet werden. Das betraf in umfangreichem Maß vor allem die aus der TK 10 abgegriffenen und als Mittelwasser interpretierten Stützstellen. Anhand der Ganglinienanalyse der vom LUA gemessenen Pegel wurden – analog zum Vorgehen im Grundwasser – mit der doppelten Mittelwertbildung die Abweichungsbeträge ermittelt und mit diesen die nicht terminbezogen vorliegenden Stützstellen transformiert. Tabelle 2 dokumentiert die mittleren Abweichungsbeträge auf der Basis von 17 Einzugsgebieten oberirdischer Gewässer.

Erkennbar ist auch hier die hydrologische Charakteristik der Hoch- und Niedrigwasserzeiträume mit jeweils positiven Zuschlägen bzw. negativen Abschlägen auf die nicht terminbezogen vorliegenden Stützstellen. Die Intensität der Abweichungen ist zumeist geringer ausgeprägt als im Grundwasser, was aufgrund der weit verbreiteten Stauhaltungen der Gewässer in Brandenburg plausibel erscheint.

Tabelle 2
Abweichungen der Stichzeiträume für die Korrektur der Stützstellen an den oberirdischen Gewässern (m)
Deviations during the typical reference periods for the calibration of the surface-water interpolation points (m)

	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
	(m)			
Mittlere Abweichung auf Basis von 17 Einzugsgebieten	0,40	-0,14	0,14	-0,07

4 Regionalisierung der Grundwasserstände

4.1 Punktbezogene Aggregierung der Datenbasis

Tabelle 3 zeigt für die vier ausgewählten Zeitpunkte, wie viele punktbezogene Grundwasserstände jeweils in die geostatistische Berechnung eingingen.

Abbildung 6 zeigt für Oktober 2006 die regionale Verteilung. Insgesamt konnten zwischen 15.733 und 16.609 punktbezogene Stützstellen für die Regionalisierung verwendet werden.

Die Karte zeigt sehr deutlich die großen regionalen Unterschiede in der Verteilung der Punkte. Die durchschnittliche Datendichte liegt auf die gesamte Landesfläche bezogen für eine Stützstelle bei etwa 1,8 km². Die größte Datengrundlage bilden die transformierten Wasserstände oberirdischer Gewässer. Da diese ausnahmslos in Gebieten mit ungespanntem Grundwasser abgegriffen worden waren, zeigt sich entsprechend in den Karten innerhalb der Gebiete mit gespanntem Grundwasser eine erkennbar geringere punktbezogene Datenbasis. Dort wurden fast ausnahmslos Grundwasserstände von Messstellen des LUA (terminbezogen oder korrigiert) verwendet, um die Grundwassergleichen vor allem in den Randbereichen der Gebiete mit ungespanntem Grundwasser zu stützen.

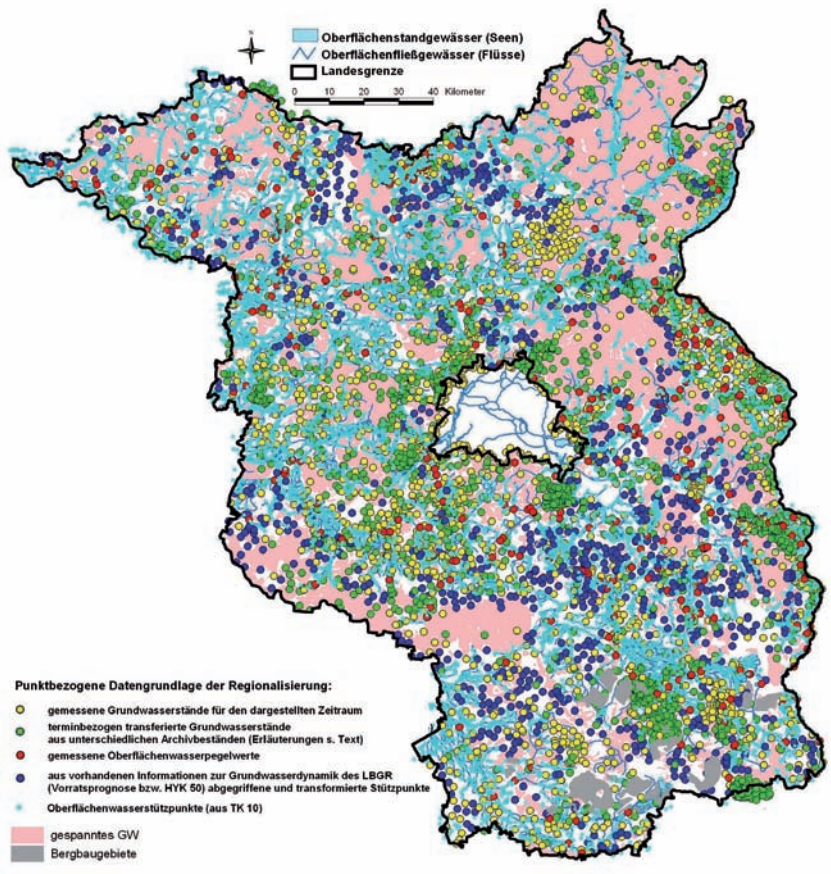

Abbildung 6
Aggregierte Punktdatenbasis zur Regionalisierung der Grundwasserstände im Oktober 2006
Aggregated point-database for the regionalization of groundwater levels in October 2006

Tabelle 3
Anzahl der verwendeten Stützstellen pro Datenherkunft und Zeitraum zur Berechnung der Grundwasserstände für die vier hydrologisch typischen Zeiträume
Number of interpolation points per data source and reference period used for the computation of the groundwater isohypses at the four typical hydrologic periods

Datenquellen bzw. -herkunft	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
Grundwassermessstellen LUA mit Stichzeitraumbezug	953	1.872	1.784	1.686
Grundwassermessstellen LUA ohne Stichzeitraumbezug	2.275	1.320	1.401	1.521
Oberflächenwasserpegel LUA mit Stichzeitraumbezug	112	371	356	364
Oberflächenwasserpegel Schorfheide mit Stichzeitraumbezug	--	9	10	9
aus der HYK 50 abgegriffene und korrigierte Stützstellen	1.160	1.039	1.166	1.004
Grundwasserstände aus TWSZ-Gutachten ohne Stichzeitraumbezug	--	704	710	714
Grundwassermessstellen Senat Berlin mit Stichzeitraumbezug	116	197	213	211
Grundwasserstände Kreis Oberhavel ohne Stichzeitraumbezug	71	75	71	72
Grundwasserstände Nieplitz-EZG ohne Stichzeitraumbezug	92	91	92	93
Grundwasserstände WW Briesen mit Stichzeitraumbezug	--	62	62	62
Grundwasserstände Schorfheide mit Stichzeitraumbezug	16*	40	40	41
Grundwasserstände Bergbaubereich mit Stichzeitraumbezug	--	37	37	40
aus TK 10 abgegriffene Stützstellen oberirdischer Gewässer	11.170	10.666	10.680	10.682
Summe punktbezogene Datengrundlagen	15.965	16.483	16.622	16.499

* für den Zeitraum April 1970 wurden die Schorfheide-Grundwasserstände transferiert

Die in Tabelle 3 erkennbaren Unterschiede zwischen den vier Zeitpunkten ergeben sich durch die Besonderheiten der vier Zeiträume. Vor allem für April 1970 lagen deutlich weniger gemessene Grundwasserstände und Pegelwerte der Messstellen des LUA und von Dritten (z.B. aus den Schutzzonenberechnungen) vor. Dementsprechend wurden mehr Wasserstände mithilfe der Normganglinien angepasst.

Innerhalb der Gebiete mit ungespanntem Grundwasser wurden die zusätzlich digitalisierten Punkte außerhalb der Waldflächen in z.T. geringerer Dichte als im Wald gesetzt. Dies gleicht sich jedoch z.B. im Oderbruch im Osten – als einem der größten zusammenhängenden waldfreien Bereiche – durch die hier in großer räumlicher Dichte vorliegenden Messstellen wieder aus. Auch in der Umgebung der Bergbaugebiete im Süden des Landes liegen deutlich weniger Punkte als im Landesdurchschnitt vor.

4.2 Primärstatistik der punktbezogenen Datenbasis zur Ermittlung des Grundwasserflurabstandes

Die in Kap. 4.1 beschriebenen punktbezogenen Daten zu den Wasserständen bilden die Ausgangsdatenbasis für die Regionalisierung, also die Übertragung der Informationen vom Punkt in die Fläche bzw. von den irregulär und zufällig verteilten Stützstellen in das regulär berechnete Raster im gewünschten Gitterabstand. In Tabelle 4 sind pro Zeitraum ausgewählte primärstatistische Parameter dazu aufgeführt.

Tabelle 1 dokumentierte die anhand der Analyse der langjährigen Ganglinien ermittelten Abweichungsbeträge vom langjährigen Mittelwert der Normganglinie für die vier Zeitpunkte, diese lagen zwischen -0,39 m (Oktober 2006) und +0,63 m (April 1970). Anhand der Median- bzw. Mittelwerte (Tab. 4 fett markiert) sind diese Unterschiede auch in der punktbezogenen Datengrundlage nachvollziehbar. Die Mittelwerte liegen zu allen Zeitpunkten um etwa 3 bis 4 m höher als die Mediane. Im April 1970 liegen die Grundwasserstände am höchsten, die Unterschiede zu den anderen Zeitpunkten sind jedoch im Vergleich zu den o.g. Differenzen etwas geringer ausgeprägt. Das hat seine Ursachen in der starken Dominanz der Stützstellen mit den Wasserständen oberirdischer Gewässer in Gebieten mit ungespanntem Grundwasser. Diese wurden nicht mit den anhand der Normganglinie ermittelten grundwasserbezogenen Korrekturfaktoren, sondern mit den nicht so stark abweichenden pegelbezogenen Faktoren innerhalb der Einzugsgebiete der oberirdischen Gewässer jeweils auf die gesuchten Stichzeiträume transformiert. Die dadurch insgesamt geringer ausgeprägten Schwankungen haben ihre hydrologische Berechtigung, da auch das Grundwasser in den Niederungen mit hydraulischer Anbindung an die oberirdischen Gewässer zwar kurzfristig nach Hochwasserereignissen intensiver, aber in Bezug auf die Gesamtamplitude weniger stark schwankt. Zudem sind viele oberirdische Gewässer staureguliert, wodurch die Schwankungsamplituden ebenfalls künstlich herabgesetzt und gegenüber den Neubildungsgebieten des Grundwassers in Richtung der unterirdischen Wasserscheiden minimiert werden. Die stichzeitraumbezogenen Datengrundlagen können also als robust im Ergebnis der Datenrecherche, -aufbereitung und -aggregierung und als geeignet für die Zwecke der Regionalisierung bezeichnet werden.

4.3 Variogrammanalyse für die vier ausgewählten Zeiträume

Mit den punktbezogenen Daten zu den Grundwasserständen der vier Zeitpunkte wurde jeweils eine möglichst optimale Anpassung der Variogramme ermittelt. Für alle vier Zeitpunkte wurde das lineare Modell ohne Berücksichtigung eines Nugget-Effekts verwendet, da hiermit die beste Anpassung der Messan die Schätzwerte erreicht werden konnte. Das lineare Modell steigt ohne Abflachung linear an und erreicht keinen Sill. Es ist ein Sonderfall des Power-Modells mit einem Exponenten p = 1. Bei Exponenten p > 1 steigt das Variogramm zunächst flacher an, bei p < 1 steigt es nahe dem Ursprung steil an und flacht zunehmend ab, ohne jedoch einen Sill zu erreichen. Durch Anpassung der Modellkurven an die Variogrammfunktionen wurden Parameter für eine optimal angepasste Interpolation im Vergleich zur Standardeinstellung (Steigung = 1, Anisotropie = 1) mit dem Kriging-Verfahren gewonnen. Dieses Verfahren basiert auf der Bildung gewichteter Mittelwerte von Variablen (SCHAFMEISTER 1999).

Die anhand der Variogrammanalyse ermittelten geostatistischen Parameter enthält Tabelle 5 zusammen mit den generell für alle vier Zeitpunkte gültigen Parametern der Schätzung, z.B. den vorgegebenen Koordinateneckpunkten und den Rasterweiten der Schätzung. Der Parameter Suchellipse Radius wurde im Ergebnis verschiedener Variantenberechnungen mit der einheitlichen Einstellung von 50 km für alle vier Zeiträume festgelegt. Wichtigstes Kriterium waren die Standardabweichungen als Maß für die Unsicherheiten der Schätzung (s. Kap. 4.4).

Tabelle 4
Statistische Parameter zur Beschreibung der Ausgangsdaten der stützstellenbezogenen Grundwasserstandrohrspiegelhöhen pro Stichzeitraum
Statistical parameters for the description of the database at the beginning of the computation of groundwater isohypses per reference period

Primärstatistischer Parameter	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
Anzahl Stützstellen	15.965	16.483	16.622	16.499
Minimum (m ü. NN)	-2,1	-2,6	-2,1	-2,5
5-Perzentil (m ü. NN)	8,2	8,1	8,6	8,1
10-Perzentil (m ü. NN)	19,0	19,1	19,9	19,3
25-Perzentil (m ü. NN)	30,0	29,4	29,9	29,6
Median (m ü. NN)	**41,4**	**40,8**	**41,0**	**40,9**
Mittelwert (m ü. NN)	**45,2**	**44,7**	**45,1**	**44,9**
75-Perzentil (m ü. NN)	57,3	56,9	57,1	57,0
90-Perzentil (m ü. NN)	80,4	79,4	79,8	79,7
95-Perzentil (m ü. NN)	91,0	90,2	90,8	90,5
Maximum (m ü. NN)	136,1	135,5	135,8	135,5
Standardabweichung (m)	23,3	23,2	23,1	23,2
Varianz (m)	544,4	536,9	534,6	538,7
Schiefe	0,68	0,68	0,68	0,68
Spannweite (m)	138,2	138,1	137,9	138,0

Tabelle 5
Geostatistische Parameter pro Stichzeitraum für die Regionalisierung der Grundwasserstände
Geostatistical parameters per reference period for the regionalization of groundwater levels

Geostatistische Parameter	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
Z (GWStand) Minimum [m]	-1.93	-2.59	-2.07	-2.43
Z (GWStand) Median [m]	47,66	46,86	47,38	46,95
Z (GWStand) Mittelwert [m]	52,31	51,31	51,83	51,44
Z (GWStand) Maximum [m]	136,04	135,44	135,77	135,47
Z (GWStand) Standardabweichung	25,01	24,76	24,77	24,79
Z (GWStand) Varianz [m]	625,29	612,98	613,37	614,56
Z (GWStand) Spannweite [m]	137,98	138,03	137,84	137,90
Z (GWStand) Interquartil-Spannweite	32,91	32,48	32,41	32,45

Der Gitterabstand betrug einheitlich 100 m (s. Kap. 2.1). Hieraus resultieren 5.596.275 Einzelpunkte innerhalb eines Rechtecks um die Landesfläche, für die zunächst die Schätzung mit den Variogrammeinstellungen erfolgt. Anschließend wurde ein sog. Blank durchgeführt, so dass zunächst noch 2.963.118 Einzelpunkte innerhalb der gesamten Landesfläche übrig bleiben. Im Ergebnis des nachfolgenden Blanks auf die Gebiete mit ungespanntem Grundwasser im Wald verbleiben dann noch 748.875 Einzelpunkte.

4.4 Ermittlung der Standardabweichungen der Schätzung

Für Oktober 2006 wurden exemplarisch Berechnungen mit unterschiedlichen Radien der Suchellipsen bzw. Reichweiten durchgeführt. Je größer dieser Parameter, desto mehr – allerdings auch weiter entfernt liegende – Stützstellen gehen in die Ermittlung des Schätzwertes am Standort ein. Bei einem Radius von z.B. 12 km können Stützstellen in maximal 12 km Entfernung zum zu schätzenden Punkt für die Berechnung berücksichtigt werden, bei einem Radius von 50 km entsprechend auch noch die weiter entfernt liegenden. Vor allem in Gebieten mit einer geringen Datenbelegung könnte dies von Vorteil sein, abzuwägen wäre dieser aber mit dem Nachteil der ggf. größeren Unsicherheiten. Zur Ermittlung der mit dem Regionalisierungsprozess verbundenen Unsicherheiten der Schätzung wurden die entsprechenden Standardabweichungen exemplarisch für Oktober 2006 ermittelt. Diese für die gesamte Landesfläche berechneten Werte reichen von 0,11 bis 7,4 m, der Mittelwert liegt bei 2,71 m. Dieser Wert beinhaltet jedoch auch alle Landesteile mit gespanntem Grundwasser, in denen die Unsicherheiten aufgrund der schlechten Datenbelegung besonders hoch sind, genauso wie die Bereiche an den Rändern zu Nachbarländern aufgrund des Fehlens von Werten jenseits der Landesgrenze (z.B. in Polen).

Abbildung 7 zeigt einen Detailausschnitt zusammen mit den berechneten Grundwassergleichen aus dem Dahme-Seengebiet. Erkennbar ist, dass die Standardabweichungen dort besonders niedrig sind, wo die Stützstellen der Berechnung liegen. Zwischen diesen Stützstellen steigen die Werte sofort an, es besteht also der zu erwartende enge Zusammenhang zwischen der Dichte der Datenbasis und der Qualität des Schätzergebnisses. Standardabweichungen zwischen 3 und 4 m (gelbe Flächen in Abb. 8) sind in vielen Gebieten ohne Stützstellen erkennbar, während nahe der Stützstellen zumeist Werte von weniger als 1 m erreicht werden. In Gebieten mit gespanntem Grundwasser steigen die Standardabweichungen stark an, weshalb den berechneten Grundwassergleichen eine große Unsicherheit beigemessen werden muss.

4.5 Landesweite Berechnung der Grundwasserdruckflächen für die vier Zeiträume

Im Ergebnis der iterativ – jeweils mit einer im Ergebnis von Plausibilitätsprüfungen optimierten Datenbasis – durchgeführten Berechnungsläufe mit dem sog. Punktkriging-Verfahren für die vier Zeiträume standen die Rasterdaten zu den Grundwasserdruckflächen digital zur Verfügung. Nach dem sog. Blanken, also dem Wegschneiden der berechneten Daten außerhalb der Landesgrenzen von Brandenburg, handelt es sich um die o.g. 2.963.118 Einzelpunkte in 2.407 Reihen und 2.325 Spalten. Die Informationen liegen für die gesamte Landesfläche vor, also auch für die nicht bewaldeten Flächen und die Landesteile mit gespanntem Grundwasser.

Als wichtiges Werkzeug der Plausibilitätsprüfung nach Abschluss der jeweils etwa sechs- bis achtfach durchgeführten iterativen

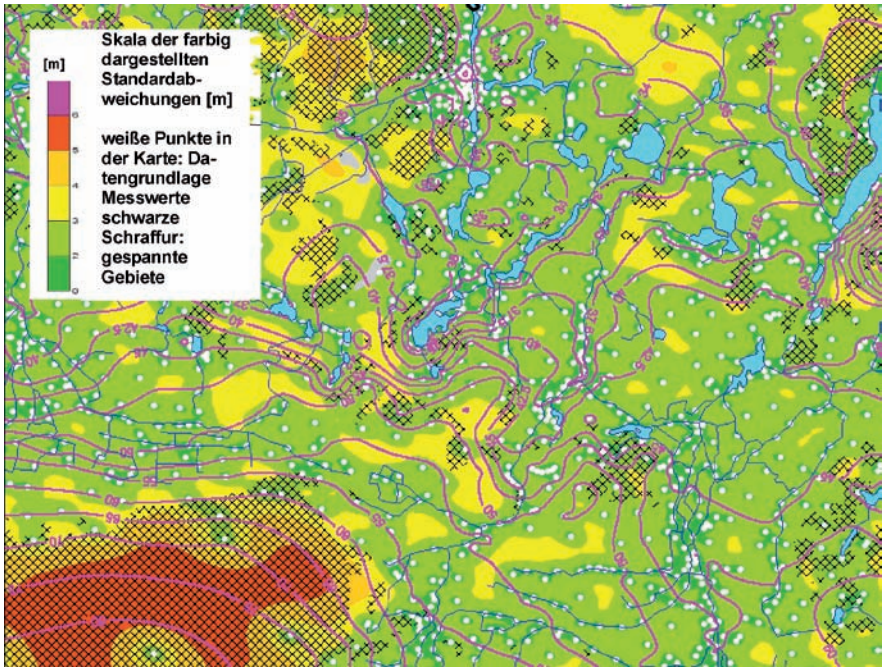

Abbildung 7
Standardabweichungen der Berechnung im Dahme-Seengebiet im Oktober 2006 zusammen mit den berechneten Grundwassergleichen
Standard deviations of the computation in the Dahme lake district in October 2006 along with the computed groundwater isohypses

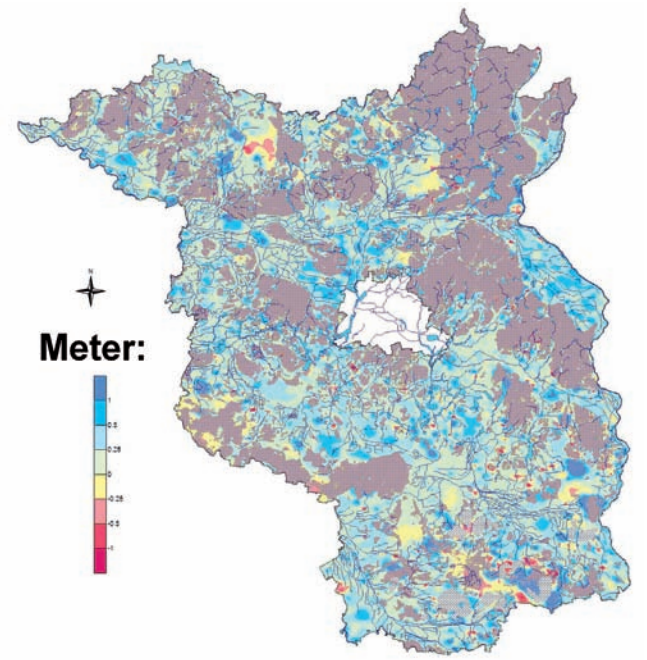

Abbildung 8
Differenzen der berechneten Grundwassergleichen in den Bereichen des Landes mit ungespanntem Grundwasser zwischen April 2008 und Oktober 2008 (braune Schraffur: gespannte Gebiete, graue Schraffur: Aufschüttungen in der Umgebung der Tagebaubereiche)
Differences of the computed groundwater isohypses in the unconfined groundwater areas in Brandenburg between April and October 2008

Kriging-Berechnungen wurden die zeitraumbezogenen Grids der Grundwassergleichen digital miteinander verschnitten und so die rasterpunktbezogenen Differenzen zwischen jeweils zwei Zeiträumen ermittelt. Dies hat sich als ein sehr brauchbares Werkzeug zur Kontrolle der ebenfalls iterativ vorgenommenen Modifizierung der Datengrundlage (Aussonderung bzw. Hinzufügung von Stützstellen) bewährt, um keine Verzerrungen der Ergebnisse zwischen den Zeiträumen zu generieren.

Abbildung 8 zeigt die Differenzen zwischen April und Oktober 2008, also den innerjährlichen Vergleich. Die stützstellenbezogene Differenz lag hier bei nur 20 cm. Mit Ausnahme einiger Bereiche im Süden des Landes, in der Umgebung der Bergbauaufschüttungen, sind fast nur höhere Grundwasserdruckflächen im April 2008 erkennbar. Zumeist reichen diese jedoch nicht mehr als 1 m über diejenigen vom Oktober 2008 hinaus.

Bei in der Karte hellgelb erkennbaren Gebieten (z.B. in der Schorfheide und in der Wittstocker Heide) liegen die Grundwasserstände im Oktober 2008 im Vergleich zu April 2008 zumeist nur sehr geringfügig höher (meist wenige Zentimeter). Die dazu durchgeführte Prüfung ergab, dass es sich dabei um tatsächlich gemessene Grundwasserstände handelt. Das sind also Bereiche, in denen lokal andere hydrologische Zustände zu den ausgewählten Zeitpunkten auftraten als im Landesdurchschnitt.

Um die Berechnungsergebnisse einer systematischen Prüfung zu unterziehen, wurden nur für die Gitterpunkte in den Waldflächen mit ungespanntem Grundwasser ausgewählte statistische Parameter auf Grundlage der zu allen Kombinationen möglichen Differenzen berechnet (s. Tab. 6).

Vor allem bei den Median- und arithmetischen Mittelwerten sind die anhand der Kartendarstellungen beschriebenen Zusammenhänge auch bei den statistischen Parametern erkennbar. Zudem bestehen enge Zusammenhänge zu den statistischen Parametern der Grundwasserhöhen in den stützstellenbezogenen Ausgangsdaten. Die größten Unterschiede sind anhand der Differenzen zwischen den beiden interannuellen Hoch- bzw. Niedrigwasserzeiträumen April 1970 und Oktober 2006 mit 0,99 m bzw. 0,76 m erkennbar. Der Medianwert passt hier besser zu den entsprechenden Werten der Ausgangsdaten, der Mittelwert ist durch Ausreißer nach oben beeinflusst. Die geringsten Unterschiede bestehen zwischen den beiden Herbstzeitpunkten 2006 und 2008. Auch die Spannweiten der sechs aufgeführten Kombinationen untereinander zeigen anhand der Unterschiede (z.B. beim Median von 0,64 m und beim Mittelwert von 0,87 m) an, dass es durch den geostatistischen Regionalisierungsprozess zu keiner systematischen Verfälschung der berechneten Grundwasserhöhen im Vergleich zu den Ausgangsdaten gekommen ist.

5 Ermittlung des Grundwasserflurabstandes für hydrologisch typische Zeiträume

5.1 Berechnung und Plausibilitätsprüfung

Der Flurabstand des Grundwassers wurde durch den digitalen Verschnitt der Grundwasserdruckflächen mit dem Geländehöhenmodell ermittelt. Dies geschah durch einfache Subtraktion: Geländehöhe minus Grundwasserdruckfläche. Der so berechnete Flurabstand wurde den Rasterpunkten im 100 m-Abstand als neue Information zu den vier Zeitpunkten hinzugefügt.

Die wesentliche Prüfung der berechneten Daten wurde bereits anhand der Untersuchung der Unterschiede der Grundwasserdruckflächen zwischen den Stichzeiträumen erläutert. Es wurde

Tabelle 6
Statistische Parameter der Differenzen der Grundwasserdruckhöhen zwischen den Stichzeiträumen für die Rasterpunkte (m)
Statistical parameters of the differences of groundwater levels between the reference periods at the interpolation points (m)

Zeitraum	MIN	25-P.	Median	MW	75-P.	MAX	Std.-Abw	Varianz
April 1970 minus April 2008	-17,32	0,15	0,36	0,57	0,58	26,82	1,33	1,80
April 1970 minus Oktober 2008	-18,12	0,38	0,64	0,87	0,93	26,29	1,42	2,02
April 1970 minus Oktober 2006	-21,59	0,49	0,76	0,99	1,08	24,82	1,44	2,07
April 2008 minus Oktober 2008	-13,47	0,09	0,20	0,30	0,37	17,41	0,58	0,33
April 2008 minus Oktober 2006	-19,96	0,17	0,32	0,42	0,53	17,54	0,72	0,52
Oktober 08 minus Oktober 2006	-20,91	0,04	0,16	0,12	0,19	13,49	0,54	0,29

im Rahmen der iterativen stützstellenbezogenen Bearbeitung darauf geachtet, dass die Ergebnisdaten in möglichst geringem Umfang einen Grundwasserstand über Flur, also negative Flurabstände, beinhalten. Komplett vermeiden lässt sich dies aufgrund der zur Verfügung stehenden Datenbasis sowie der zumeist ungleich höheren regionalen Auflösung des DGM 25 nicht. Vor allem in Gebieten mit kleinräumigen Senken, in der Nähe oberirdischer Gewässer, in tief in das Gelände eingeschnittenen Tälern oder in der Umgebung der Quellbereiche von oberirdischen Gewässern (z.B. in moorigen Senken) enthalten die Ergebnisdaten diese negativen Flurabstände. Ursache dafür ist, dass nicht ausreichend Stützstellen – entweder gemessene bzw. transformierbare Grundwasserstände oder aus der TK 10 abgreifbare Pegelstände der oberirdischen Gewässer – zur Verfügung standen. Es wurde besonders darauf geachtet, dass diese Gebiete nicht außerhalb der o.g. Bereiche auftreten.

5.2 Darstellung des Flurabstandes in klimatisch unterschiedlichen Zeiträumen

Abbildung 9 zeigt die Flurabstände in den bewaldeten Gebieten des Landes im April 1970.

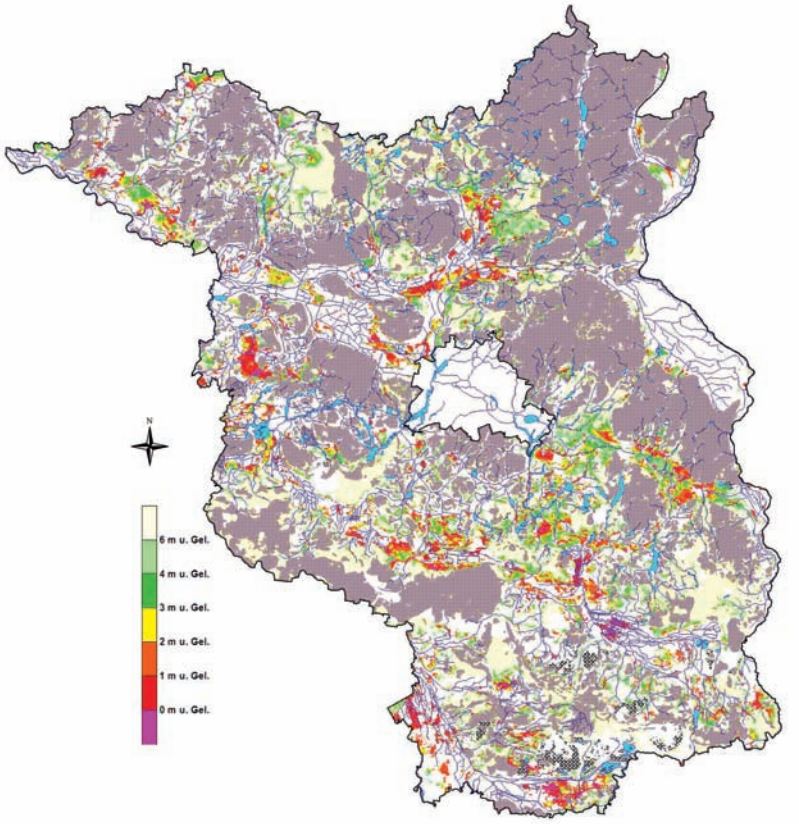

Abbildung 9
Flurabstand des ungespannten Grundwassers in Waldgebieten im April 1970 (braune Schraffur: gespannte Gebiete, graue Schraffur: Aufschüttungen in der Umgebung der Tagebaue)
Depth to unconfined groundwater tables under forest areas in April 1970

Summarisch mit einer einheitlichen Farbe (hellgelb) belegt wurden Flächen mit einem Flurabstand von mehr als 6 m unter Gelände, da diese keine forstökologische Bedeutung haben. Auf die Gebiete mit mehr als 4 m Flurabstand trifft dies in hohem Maß auch zu, da hier von allenfalls sehr geringen kapillaren Aufstiegsraten in den effektiven Wurzelraum der Waldbestände ausgegangen werden muss. Daher wurden diese Flächen mit einer nur schwachen Farbsättigung ähnlich dargestellt. Es sind die großen Sandergebiete des Landes sowie oft auch Hochflächenränder mit zumeist sehr tief liegendem Grundwasser. Geringere Flurabstände als 4 m zeigen sich hingegen vor allem an den Rändern der Niederungen zu den Hochflächenbereichen und nur sehr untergeordnet als lokale Senken innerhalb der Sander. Auch in Flugsand- bzw. Dünengebieten können diese charakteristischen Flurabstände vorliegen. Gebiete mit Flurabständen von weniger als 2 m haben zumeist einen erkennbaren räumlichen Bezug zu oberirdischen Gewässern, hydrogeologisch sind das Entlastungsgebiete, in denen im Jahresdurchschnitt die Verdunstung die Grundwasserneubildungsrate übersteigt und daher ein aufsteigender hydraulischer Gradient vorliegt. Flurabstände von weniger als 1 m zeigen den unmittelbaren Einfluss des Grundwassers in der oberen Bodenzone an. Vor allem im April 1970 sind diese Gebiete aufgrund des Grundwasserhochstandes weit verbreitet. Das ist für den Hochwasserzeitraum plausibel, aber auch für andere Zeitpunkte wurde dies ermittelt.

Abbildung 10 zeigt die Flurabstandsklassen für den Niedrigwasserzeitraum Oktober 2006. Unterschiede zum Hochwasserzeitraum April 1970 zeigen sich im Vergleich aufgrund der Skalierung nur im Detail. In der südlichen Schorfheide (NE) sind z.B. Flächen mit hohen Flurabständen (> 6 m) deutlich größer. Auf andere Sandergebiete trifft dies nicht zu, da hier die Flurabstände großflächig deutlich mehr als 6 m betragen und somit auch in Zeiten mit Grundwasserhochständen nicht unter diesen Wert fallen.

5.3 Grundwasserflurabstandsklassen im Vergleich der Stichzeiträume

Tabelle 7 zeigt die aufsummierten prozentualen Flächenanteile bei aufsteigenden Flurabstandsklassen, also jeweils niedrigeren Grundwasserständen. In der Intervallklasse > 6 m sind alle höheren Werte zusammengefasst. Die in den Waldflächen über ungespanntem Grundwasser ermittelten Anteile wurden auf die gesamte Waldfläche hochgerechnet.

Die charakteristischen hydrologischen Zusammenhänge der vier typischen Zeiträume sind auch in dieser Zusammenstellung sehr gut erkennbar. Die beiden intraannuellen Zeiträume ordnen sich jeweils zwischen die interannuellen Zeiträume mit den größeren Spannweiten des Grundwasserstandes ein.

Im April 1970, dem Zeitpunkt mit den deutlich höchsten Grundwasserständen, haben 8,3 % aller Standorte im Wald einen Flurabstand von weniger als 1 m. Das ist mehr als doppelt so viel wie im Oktober 2006 (3,6 %), dem Zeitpunkt mit den niedrigsten Grundwasserständen innerhalb des untersuchten Zeitraums. Bei den aufsummierten Flächenanteilen für die Klasse < 2 m mindert sich dieses Verhältnis bereits ab, hier betragen die Anteile 17,4 % im April 1970 und 11,0 % im Oktober 2006. Bei den Klassen < 3 m

Tabelle 7
Prozentuale Flächenanteile von Flurabstandsintervallklassen pro Zeitraum an der gesamten Waldfläche
Percentages of forest areas of the depth-to-groundwater-table interval classes per reference period

Prozentuale Anteile an der gesamten Waldfläche	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
< 1 m Flurabstand	8,3	3,6	5,8	4,2
< 2 m (aufsummiert)	17,4	11,0	14,6	11,9
< 3 m (aufsummiert)	25,3	19,7	22,8	20,5
< 4 m (aufsummiert)	31,2	26,6	29,1	27,3
< 5 m (aufsummiert)	35,8	31,9	33,8	32,5
< 6 m (aufsummiert)	39,7	36,0	37,7	36,6
> 6 m Flurabstand	60,3	64,0	62,3	63,4

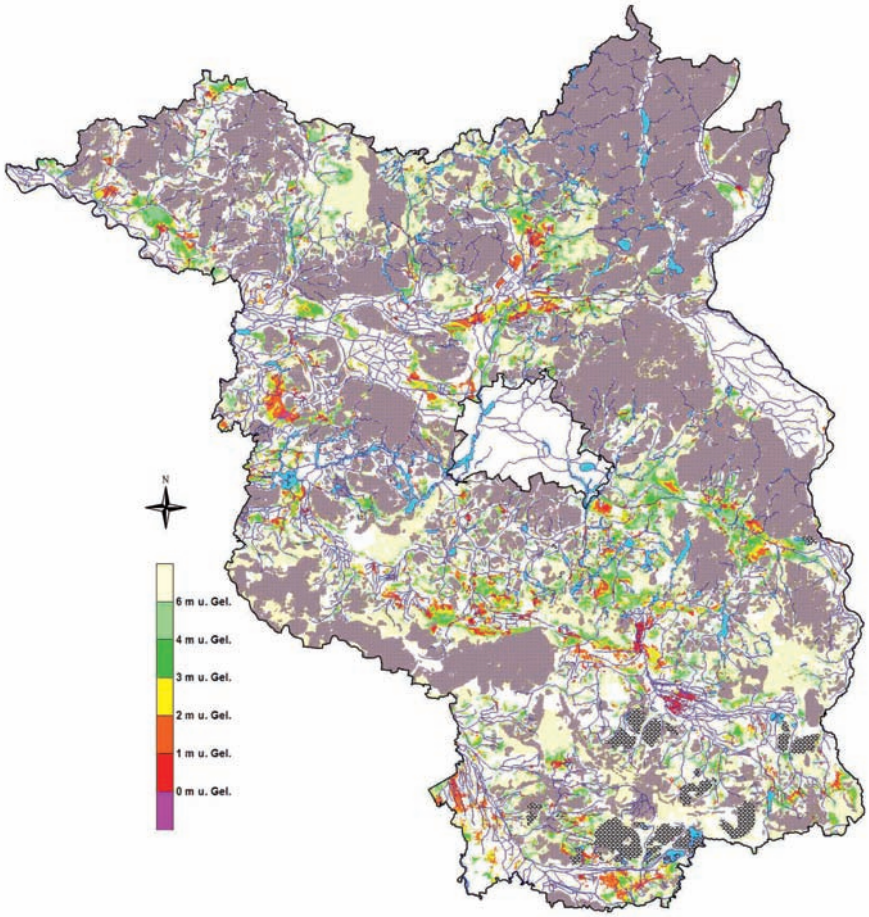

Abbildung 10
Flurabstand des ungespannten Grundwassers in Waldgebieten im Oktober 2006 (braune Schraffur: gespannte Gebiete, graue Schraffur: Aufschüttungen in der Umgebung der Tagebaue)
Depth to unconfined groundwater tables under forest areas in October 2006

bis < 6 m liegen die Flächenanteile aller vier Zeiträume relativ nahe beieinander, das sind die intermediären Flurabstandsklassen mit jeweils wechselnden Flächenanteilen pro Zeitraum und Teufenhorizont. Erst ab der Klasse > 6 m, also den höheren Flurabständen mit für die Bäume eindeutig nicht mehr erreichbarem Grundwasser, kehren sich die Flächenanteile eindeutig um: hier erreicht der Oktober 2006 die größten und der April 1970 die niedrigsten Anteile.

6 Zusammenfassung

Ziel war die Berechnung des Flurabstandes des oberflächennahen Grundwassers aller forstlich genutzten Flächen in Brandenburg für bestimmte Stichzeiträume, sog. stichzeitraumbezogene Termine. Die Bearbeitung war in das Vorhaben zur „Regionalisierung standortsbezogener Kennwerte unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien zur Ableitung dynamischer Wuchsräume“ am Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde eingebunden (RIEK 2010).

Der Flurabstand wurde mit einer Rasterweite von 100 x 100 m ermittelt. Um die digitale Reproduzierbarkeit gewährleisten zu können, wurden Daten aller verfügbaren Grundwassermessstellen und Pegel an oberirdischen Gewässern des hydrologischen Messdienstes des LUA verwendet. Auf oberirdische Gewässer bezogene Daten wurden durch Hilfsstützstellen ergänzt. Die Datenbasis wurde mit Archivdaten von aktuell durch das LUA nicht mehr beobachteten Grundwassermessstellen anhand von statistisch begründeten Analogieschlüssen ergänzt. Des Weiteren wurden Grundwasserinformationen aus den Beständen des LBGR mit in die Auswertung einbezogen.

Die Ausgrenzung der Flurabstände ist nur in Gebieten mit ungespanntem Grundwasser forstökologisch sinnvoll. Daher wurden diese Gebiete landesweit ausgewiesen. Für die räumliche Interpolation der Grundwasserstände mit Hilfe von geostatistischen Verfahren wurden zunächst alle verfügbaren Grundwasserdaten – auch außerhalb der Waldflächen – herangezogen und die Grundwassergleichen stichzeitraumbezogen berechnet. Danach wurden die Flurabstände anhand des Verschnittes der Grundwassergleichen mit der Geländeoberfläche des digitalen Geländehöhenmodells ermittelt. Abschließend wurden diese auf die Waldflächen ausgeschnitten und die Flächenanteile innerhalb bestimmter Flurabstandsklassen errechnet.

Summary

Aim of the investigation was to compute the depth to shallow groundwater tables within all forest areas in the state of Brandenburg during special reference periods. The analysis was integrated into the interdisciplinary project “Regionalization of site properties to identify dynamic growth zones considering climate scenarios” funded by the Eberswalde Forestry Competence Centre.

The depth to groundwater tables was computed with a grid-node distance of 100 metres. To ensure the digital reproducibility, data of all available groundwater measurement points and surface-water gauges of the monitoring network of the Land Agency for the Environment and Agriculture (LUA) Brandenburg were considered. Surface-water data were completed by interpolation points. The data-base was supplemented with archive data from groundwater measurement points that are not observed by LUA any more. These data were transferred to the reference periods by statistical methods. Moreover, data from the Geological Survey of Brandenburg (LBGR) were integrated into the analysis.

The computation of the depth to the groundwater table is reasonable only in areas with unconfined groundwater. Therefore these areas were identified at the beginning of the study. For the spatial interpolation of groundwater levels with geostatistical methods, all available groundwater data – also those outside the forest areas – were integrated in the analysis to compute the groundwater isohypses for the reference periods. Subsequently, the depth to the groundwater table was computed by the subtraction of the groundwater-level data from digital elevation model data. Finally, the data of forest areas were extracted and the percentages of forest areas of the depth interval classes per reference period were identified.

Anschriften der Verfasser:
Dr. S. Hannappel
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 40, 13507 Berlin
hannappel@hydor.de

Prof. Dr.-Ing. W. Riek
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH) und Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde
Alfred-Möller-Str.1, 16225 Eberswalde

Literaturverzeichnis

HANNAPPEL, S. & A. LIMBERG (2007): Ermittlung des Flurabstands des oberflächennahen Grundwassers Mai 2006 in Berlin. – Brandenburger Geowissenschaftliche Beiträge 1, 65–74

LBGR (2009): HYK 50 – Hydrogeologische Karte des Landes Brandenburg 1:50.000. – Hrsg. Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Cottbus

LGRB (1997): Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1:300.000. – Hrsg. Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow

MANHENKE, V., M. HANNEMANN & B. RECHLIN (1995): Gliederung und Bezeichnung der Grundwasserleiterkomplexe im Lockergestein des Landes Brandenburg. – Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1, S. 12

RIEK, W. (2001): Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen auf das Zuwachsverhalten der Kiefer. – Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 35 (4), 207–210

RIEK, W. (2010): Regionale und standortsbezogene Unterschiede zu den Auswirkungen des Klimawandels. – Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 44, S. 38–48. Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft Brandenburg; Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (Hrsg.) (im Druck)

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

SCILANDS (2007): Qualität des DGM 25 von Brandenburg und durchgeführte Qualitätsverbesserungen. – Expertise im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Göttingen (unveröff.)

VOIGT, H.-J. (1987): Hydrogeologisches Kartenwerk der Deutschen Demokratischen Republik, Nutzerrichtlinie für die Karte der Grundwassergefährdung. – Hrsg. Zentrales Geologisches Institut, Berlin, 16 S.