

Auswirkungen der regionalen Klimaentwicklung auf die Wasserversorgung am Beispiel Wasserwerk Potsdam Leipziger Straße

Peter Nillert, Dietmar Schäfer und Karsten Zühlke

Wasserversorgung, Klimawandel, Wasserhaushalt

Bedingt durch den Klimawandel kann es in den nächsten 50 Jahren zu einem Temperaturanstieg von bis zu 1,4 °K kommen. Das kann eine Minderung der Grundwasserneubildung um 40 % bewirken. Die Energie und Wasser Potsdam GmbH veranlasste die Erstellung komplexer Grundwassermodelle, um Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung, den Grundwasserstand, die Uferfiltration und den Aufstieg von versalzenerem Grundwasser aus tiefen Grundwasserleitern zu untersuchen.

Zur Simulation des Wasserhaushaltes für die Periode 2004 bis 2055 wurden für das Einzugsgebiet des Wasserwerkes Potsdam Leipziger Straße spezielle Klimadaten verwendet, die vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung erstellt wurden.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen zeigt, dass der Klimawandel die Grundwasserneubildung, den Aufstieg versalzener Tiefenwässer und die chemische Qualität der Grundwasserressource bis zum Trinkwassergrenzwert für Chlorid beeinflussen kann.

Die sichere und nachhaltige Trinkwasserversorgung erfordert ein spezielles Grundwassermonitoring nach Menge und Güte und die Beobachtung meteorologischer und klimatischer Daten. Die Durchführung eines nachhaltigen Wassermanagements und eines erweiterten Monitorings soll die Wasserversorgung auch für die nächsten 50 Jahre sicher stellen.

An increase in the mean temperature of up to 1.4 °K caused by climate change is possible during the next 50 years. As a result, groundwater recharge is expected to decrease by 40 percent due to a decrease in precipitation. The Potsdam Energy and Water Supply Ltd. implemented complex groundwater models to investigate the influence of climate change on groundwater recharge, groundwater levels, riverbank filtration and the upwelling of salinated groundwater from deep aquifers.

To simulate the waterbalance for the period 2004 to 2055 special climate data for the catchment area were used in the Potsdam Leipziger Strasse Water Treatment Plant. The climate data for the catchment area were specially prepared by the Potsdam Institute for Climate Change.

The result of the evaluation shows that the climate change will affect groundwater recharge, the upwelling of salinated groundwater and the chemical quality of the groundwater resource, bringing it up to the chloride limit for drinking water.

The safe and sustainable drinking water supply requires a special groundwater monitoring of quality and quantity and the monitoring of meteorological and climate data. With sustainable water management and the specialised monitoring of environmental data, the drinking water supply for Potsdam can be ensured for the next 50 years.

1. Veranlassung

Die Energie und Wasser Potsdam GmbH (EWP) betreibt als lokaler Versorger die Wasserversorgung der Landeshauptstadt von Brandenburg, die sich als urbanes Zentrum stark

entwickelt. 174 000 Einwohner, davon 24 000 im Umland, werden mit naturnah aufbereitetem Grundwasser aus pleistozänen Grundwasserleitern (GWL) mit anteiligem Uferfiltrat aus fünf Wasserwerken versorgt. Die Fassungsstandorte zeichnen sich durch unterschiedliche geogene und anthropogene Beeinflussungen aus. Ein besonderes Merkmal sind die an die Havelseenette gebundenen pleistozänen Ausräumungszonen von Berlin-Tegel im Norden bis südlich von Potsdam, in denen unter dem mittelloligozänen Rupelton lagernde Salzwässer bei entsprechenden Grundwasser-

Dr.-Ing. Peter Nillert und Dr.-Ing. Dietmar Schäfer, GCI GmbH, Bahnhofstraße 19, D-15711 Königs Wusterhausen, E-Mail: mail@gci-kw.de; Dipl.-Hydr. Karsten Zühlke, Energie und Wasser Potsdam GmbH, Steinstraße 101, D-14480 Potsdam, E-Mail: kzuehlke@t-online.de

druckverhältnissen in die wasserwirtschaftlich genutzten tertiären und quartären Horizonte aufsteigen. In diesen Zonen wurden in der Vergangenheit Wasserwerke (WW) bevorzugt errichtet, da sich hier gute Fassungsbedingungen und wegen der Nähe zur Havel ausreichendes Wasserdargebot ergänzen.

Das Grundwasserdargebot wird gegenwärtig und künftig verstärkt von Auswirkungen des Klimawandels beeinflusst. Planungszeiträume von 30 Jahren und mehr für die Wasserversorgungsanlagen und eine nachhaltige Bewirtschaftung natürlicher Wasserressourcen erfordern deshalb die zusammenhängende Bewertung hinsichtlich verfügbarer Mengen und deren Beschaffenheiten. Daraus resultierende Probleme und Lösungsansätze hat die EWP in einem Pilotvorhaben durch die GCI GmbH Grundwasser Consulting Ingenieurgesellschaft in Zusammenarbeit mit dem Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) modellgestützt untersuchen lassen.

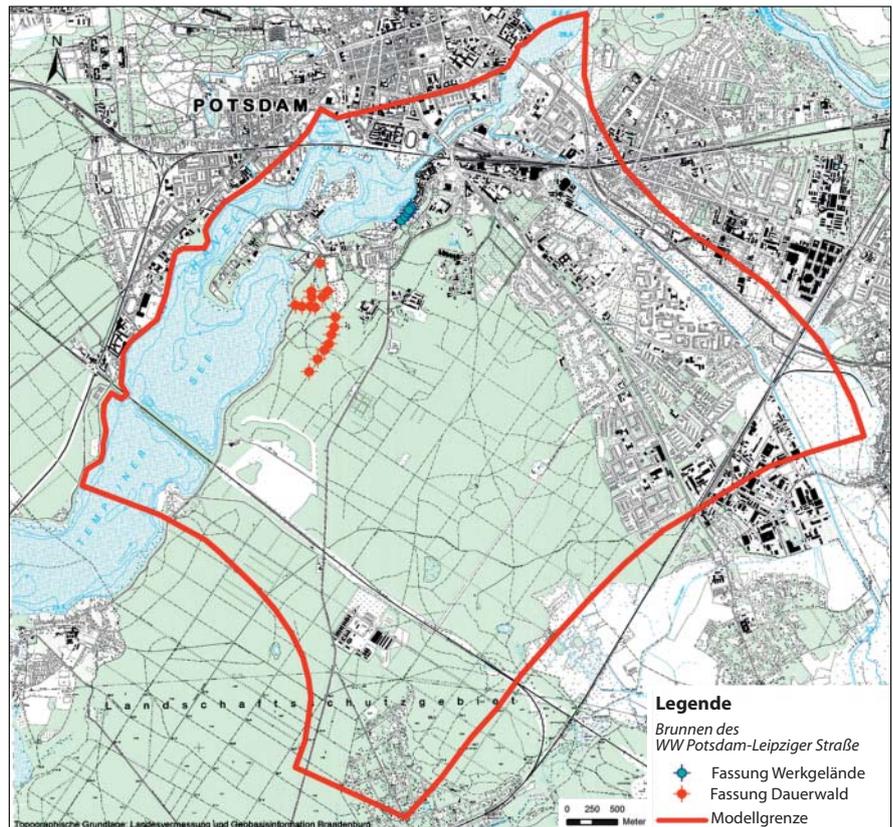


Bild 1. Übersichtskarte zum Untersuchungsgebiet.

2. Ausgangssituation

Das im Süden Potsdams am südlichen Havelufer gelegene Wasserwerk Potsdam – Leipziger Str. fördert mit den Brunnenwerkstätten Werkgelände und Dauerwald (Bild 1) mit 7 bzw. 15 Brunnen Grundwasser aus einem pleistozänen Grundwasserleiter sowie bis zu 5 % Uferfiltrat. Die Brunnen fördern aus dem zweiten von 4 GWL, die über geologische Fenster hydraulisch kommunizieren. Unter der Havel wird dieses hydrogeologische System durch eine teilweise über 200 m tief ausgebildete pleistozäne Rinne gestört, die gebietsweise den oberflächennahes Süßwasser von tiefem Salzwasser trennenden Rupelton vollständig erodiert hat. Durch die so entstandenen Fehlstellen kann hochmineralisiertes Salzwasser aufsteigen und die beiden Brunnenwerkstätten, die sich am Rand der pleistozänen Ausräumungszone befinden, erreichen.

Entsprechend der Wasserversorgungskonzeption für die Landeshauptstadt Potsdam deckt das Werk wie in der Vergangenheit künftig neben der Grundlast auch Bedarfsspitzen in den Sommermonaten ab. Dies führte in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts im Zusammenhang mit der Überforderung des natürlichen Dargebotes zu massiven Versalzungen und Huminsäureeinbrüchen im Roh- und Reinwasser (Bild 2) und zum zeitwei-

ligen Totalausfall des Wasserwerkes. Daraufhin wurde in Zusammenarbeit mit den Fachbehörden ein Betriebsreglement für die Brunnen erarbeitet, das grundsätzlich noch heute Gültigkeit hat. Die Bewirtschaftung der einzelnen Brunnen wurde mithilfe empirischer Auswertungen an den durch die Salzwasserintrusion vorgegebenen Rahmenbedingungen orientiert. Der stringent restriktive Betrieb aller Brunnen gewährleistet, dass gegenwärtig ein gering mineralisiertes und nur an einzelnen Brunnen geogen salinar beeinflusstes Rohwasser gefördert wird.

Neben dem lokal begrenzten Aufstieg von Salzwasser am Rinnenrand ist aber auch zu beobachten, dass die Süß-/Salzwassergrenze in der Rinne fortdauernd ansteigt. Der in Bild 3

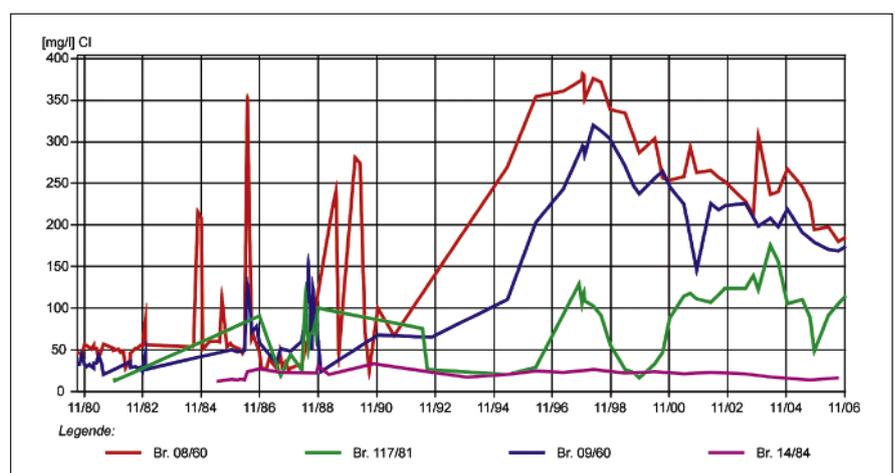


Bild 2. Zeitliche Entwicklung der Chloridkonzentrationen an ausgewählten Brunnen 1980–2006.

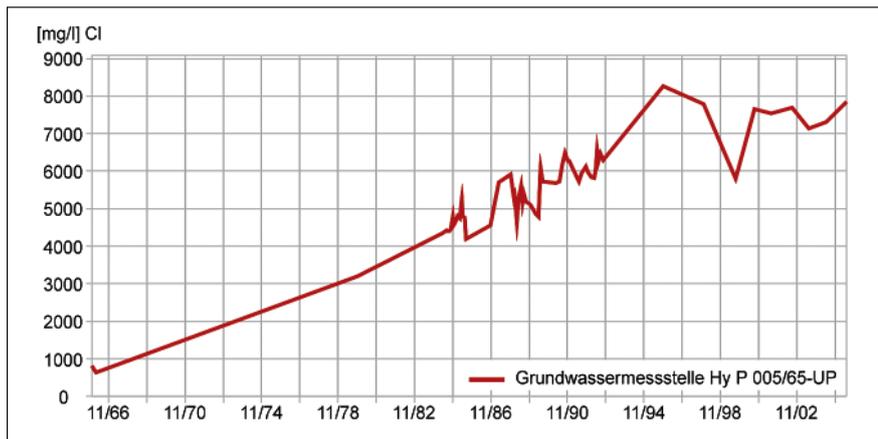


Bild 3. Anstieg der Süß-Salzwassergrenze anhand der Chloridentwicklung an einer Grundwassermessstelle in der Havelrinne.

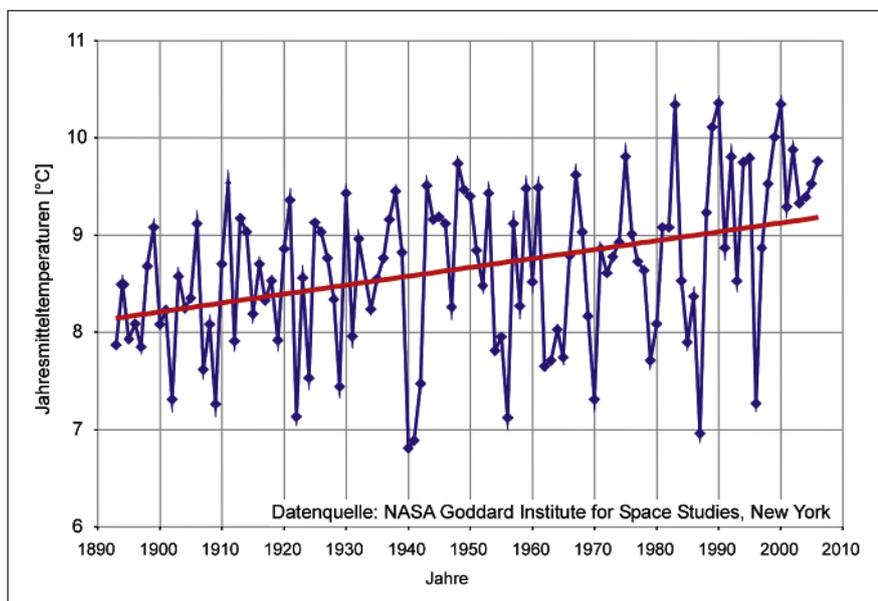


Bild 4. Temperaturanstieg an der Klimastation Potsdam von 1,02 °C (1993–2006).

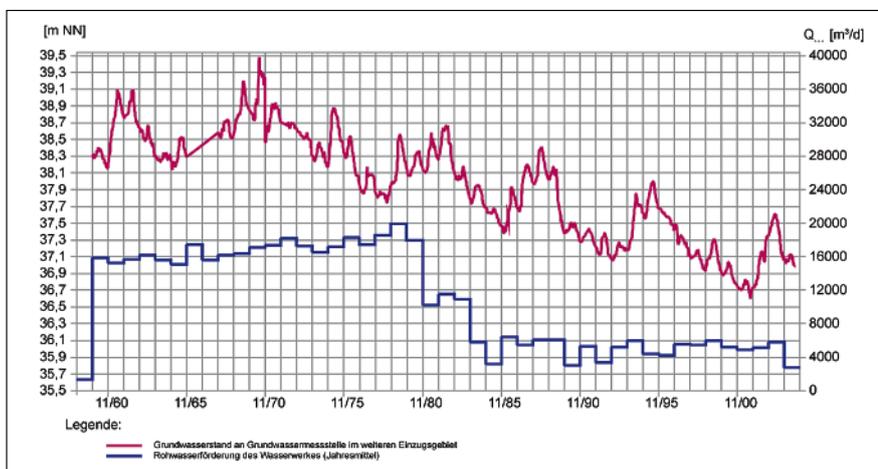


Bild 5. Rückgang des Grundwasserspiegels an einer Grundwassermessstelle auf der Hochfläche im weiteren Einzugsgebiet.

dargestellte Anstieg von Chlorid seit 1965 an der Grundwassermessstelle 5/65 zeigt, dass mit 7000 mg/L Chlorid nahezu die Konzentration des Salzwassers im Liegenden erreicht ist und belegt den Anstieg der Süß-Salzwassergrenze in der Havelrinne.

3. Wasserhaushaltliche Rahmenbedingungen

Das Land Brandenburg ist unter den gegenwärtigen Bedingungen bereits als niederschlagsarm einzuschätzen. Im Raum Potsdam beträgt der mittlere Jahresniederschlag 590 mm bei einer mittleren Jahrestemperatur von 8,7°C. Unter den speziellen klimatischen und Standortbedingungen im Einzugsgebiet resultiert daraus eine mittlere jährliche Grundwasserneubildung von 84 mm.

Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung veröffentlichte 2003 den Report Nr. 83 [1], in dem Szenarioanalysen zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Forst- und Landwirtschaft dargelegt sind. Die Ergebnisse setzen nicht nur für den Landschaftswasserhaushalt alarmierende Signale sondern auch für die Wasserversorgung. Unter den Bedingungen eines als moderat anzusehenden Klimaszenarios mit einer Temperaturzunahme von 1,4°K in den nächsten 50 Jahren wurde ein Rückgang der Grundwasserneubildung von ca. 40% ausgewiesen. Diese Dargebotsminderung wird für die Wasserversorgung schwerwiegende Folgen haben, weil nicht nur mit Einschränkungen der nutzbaren Menge sich erneuernder Grundwasservorräte zu rechnen ist, sondern auch mit nachteiligen Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit. Als Folge geringerer Grundwasserneubildung sinkt der Grundwasserspiegel in den bewirtschafteten pleistozänen Grundwasserleitern. Dadurch wird der aufwärtsgerichtete Druckgradient zwischen den prätertiären salzwasserführenden Schichten und den bewirtschafteten pleistozänen Süßwassergrundwasserleitern erhöht und damit der Salzwasseraufstieg verstärkt.

Der Klimawandel und der Rückgang der Grundwasserneubildung in Bran-

denburg sind nicht nur ein Szenario der Zukunft, sondern bereits seit ca. 25 Jahren Realität. Der Anstieg der Jahresmitteltemperatur in Potsdam, als nur ein Indiz für den Klimawandel, ist anhand der langen Beobachtungsreihe seit 1893 gut nachweisbar und beträgt $1,02\text{ }^{\circ}\text{K}$ bis 2006 (Bild 4). Trotz rückläufiger Wasserentnahme fällt seit etwa 1975 wahrscheinlich wegen kontinuierlich abnehmender Grundwasserneubildung an einer Grundwassermessstelle im weiteren Einzugsgebiet des WW Leipziger Straße in der Hochfläche der Grundwasserspiegel (Bild 5).

Um die in den nächsten 30 bis 50 Jahren zu befürchtenden Auswirkungen auf die Wasserversorgung in Potsdam am Standort des Wasserwerkes Leipziger Straße besser einschätzen zu können, wurden verschiedene Bewirtschaftungsvarianten unter Berücksichtigung der für das Land Brandenburg im PIK-Report Nr. 83 entwickelten Klimaszenarien betrachtet. Die Modelluntersuchungen erfolgten in den zwei Stufen

- Simulation zur Entwicklung der Wasserhaushaltsgrößen und
- Simulation der Salzwasserdynamik mit Auswirkung auf die Rohwasserbeschaffenheit.

4. Untersuchungskonzept und Untersuchungswerkzeuge

Eine besondere Herausforderung der Modelluntersuchungen bestand in der Notwendigkeit, aus im globalen Maßstab ermittelten Szenarien (z.B. globaler Temperaturanstieg) letztlich Untersuchungsergebnisse und Aussagen zur Entwicklung der Grundwasserdruckhöhen und der Versalzung im lokalen Maßstab von ca. 30 km^2 abzuleiten. Dabei waren unvermeidbare Informationsverluste so gering zu halten, dass aus den Untersuchungsergebnissen abschließend standortspezifische Bewirtschaftungs- und Monitoringempfehlungen abgeleitet werden können.

Die Komplexität der zu betrachtenden Prozesse und ihre Wechselbeziehungen stellen hohe Anforderungen an ein tragfähiges Untersuchungskonzept. Dessen wesentliche Bearbeitungsschritte lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Szenariorechnungen zur Entwicklung hydrologischer Eingangsgrößen im lokalen Maßstab
- Simulationsrechnungen zur Grundwasserneubildung aus den hydrologischen Eingangsgrößen
- Szenariorechnungen bezüglich der zu erwartenden Grundwasserstände als Reaktion auf die sich verändernden Neubildungsbedingungen
- Variantenuntersuchung zum Salzwasseraufstieg unter den Bedingungen veränderter Druckverhältnisse im Grundwasserkörper

Die Beschreibung dieser Prozesse und Wirkzusammenhänge ist nur unter Verwendung komplexer mathematischer Modelle für die Umsetzung jeweils einer der oben genannten Aufgaben möglich. Der Neuaufbau einer solchen Modellkette steht wirtschaftlich in keinem akzeptablen Verhältnis zur Zielstellung und den dafür beim Wasserwerksbetreiber

zur Verfügung stehenden Mitteln. Aus diesem Grund wurde ein Bearbeitungskonzept entwickelt, das sich an der Nutzung und problemspezifischen Anpassung vorhandener Modelle orientiert und die für den Betrieb dieser Modelle verantwortlichen Fachleute einbezog. In deren Verantwortung lag auch die fachgerechte Bereitstellung der bei den Modellierungen zu verwendenden Eingangsdaten.

Die klimatologische Grundlage der Arbeiten bildet der mit dem globalen Klimamodell des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg (MPI-MET) durchgeführte Berechnungslauf ECHAM4-OPYC3, der einen globalen Temperaturanstieg von $1,4\text{ }^{\circ}\text{K}$ bis zum Jahr 2055 als mögliche Entwicklung ausweist. Dieses moderate Szenario war auch Grundlage der Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt des Landes Brandenburg [1] durch das PIK im Jahr 2003. Aktuellere Klimaszenarien weisen sogar einen stärkeren Temperaturanstieg aus [2].

Die Anwendung von Ergebnissen eines regionalen Klimamodells wird für das Land Brandenburg unter Einsatz einer Monte-Carlo-Simulation beschrieben. Mit diesem Modell wurden, ausgehend von Temperaturprognosen, die Werte von wasserhaushaltlich relevanten Klimagrößen ermittelt. Diese Modellierungen wurden unter Verwendung präzisierter Modellansätze und aktualisierter Eingangsdaten von Bearbeitern der PIK-Studie mit besonderem regionalem Bezug zum Einzugsgebiet des Wasserwerkes erneut durchgeführt.

Mit den so ermittelten Klimagrößen wurde anschließend die zeitliche Entwicklung der Sickerwasserbildung in einer derartigen räumlichen Auflösung berechnet, die auch der landesweiten Berechnung in [1] zugrunde lag. Da diese räumliche Auflösung für die hinreichende Beschreibung des Einzugsgebietes des Wasserwerkes zu grob ist, wurden die ermittelten Klimagrößen als Eingangsdaten an ein einzugsgebietsbezogenes Bodenwasserhaushaltsmodell auf der Basis der Simulationssoftware ArcSIWA® [3] zur Berechnung einer räumlich deutlich höher aufgelösten instationären Grundwasserneubildungsverteilung übergeben. Auf diese Weise wurden für die Untersuchungen mit dem regionalen Klimamodell die relevanten Klimagrößen ermittelt und im einzugsgebietsbezogenen Bodenwasserhaushaltsmodell hieraus die zeitliche Entwicklung der Grundwasserneubildung berechnet.

Die für das Einzugsgebiet ermittelte instationäre Grundwasserneubildung bildet eine wesentliche Randbedingung für das auf der Basis der Simulationssoftware FEFLOW® [4] entwickelte und betriebene dreidimensionale Grundwasserströmungsmodell. Dieses Modell wurde vor seinem hier beschriebenen Einsatz stationär kalibriert und instationär validiert.

Für die dichtegekoppelte Simulation des Salzwasseraufstiegs bis in die Brunnen wurde aus dem einzugsgebietsbezogenen Strömungsmodell für das engere Einzugsgebiet des Wasserwerkes ein dreidimensionales Transportmodell abgeleitet. Dieses wurde für den Zeitraum 1920 bis 2003 anhand der im Rohwasser der Fassungen ermittelten Chloridkonzentrationen kalibriert und diente anschließend der Simulation des Aufstiegs und der Verbreitung des geogen salinaren Tiefenwassers.

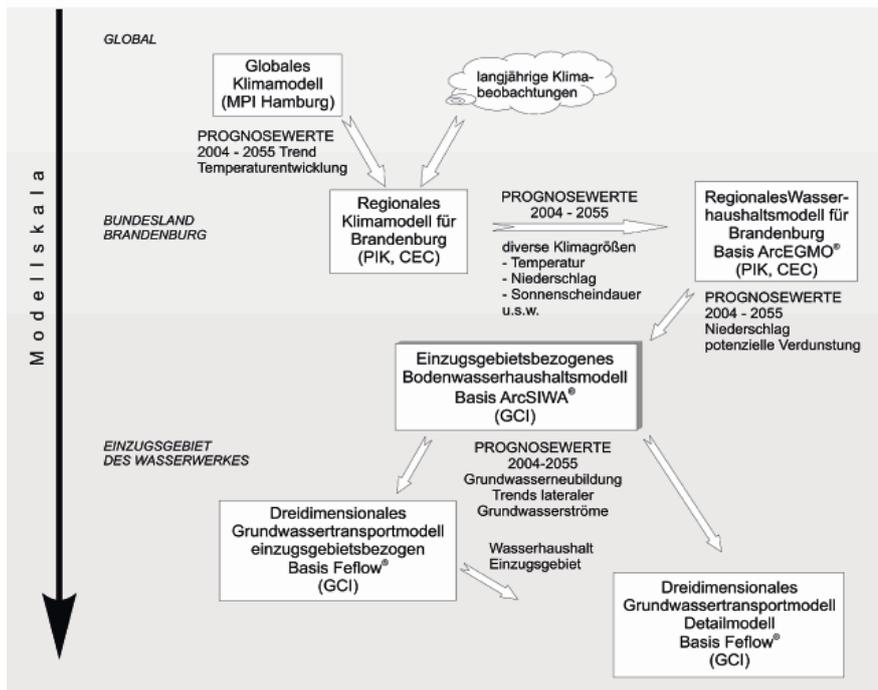


Bild 6. Verwendetes Modellsystem.

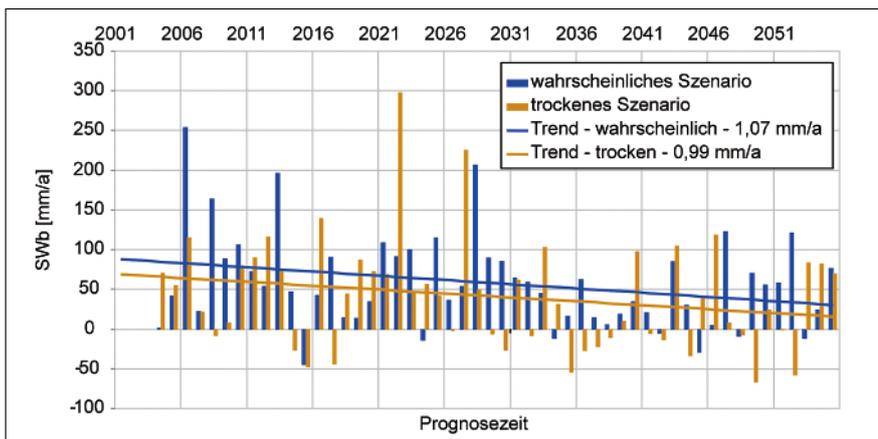


Bild 7. Abgeschätzte Zeitfunktionen der gebietsmittleren Sickerwasserbildung für das trockenere und das wahrscheinliche Klimaszenario.

Das Modellkonzept und der Informationsfluss sind stark schematisiert in *Bild 6* zusammengefasst.

5. Untersuchungsszenarien

Das beschriebene klimatologische Basisszenario war Grundlage der Untersuchungen. Für die weiteren Betrachtungen wurden das wahrscheinlichste und das trockenste wasserhaushaltliche Szenario ausgewählt. *Bild 7* zeigt für beide Szenarien den simulierten Gang der für das Einzugsgebiet flächengemittelten Sickerwasserbildung in der zeitlichen Auflösung von Jahresmitteln sowie die daraus abgeleiteten linearen Trends. Das Trendverhalten beider Szenarien ist ähnlich, wobei die durchschnittliche Neubildungsrate des Trockenszenarios um etwa 20 mm/a unter derjenigen des wahrscheinlichen Szenarios liegt.

6. Auswirkungen der Dargebotsänderungen auf die Grundwasserströmungsverhältnisse

Das Grundwasserströmungsmodell enthält nicht das gesamte unterirdische Einzugsgebiet des Wasserwerkes, so dass in einem Randabschnitt Zuflüsse aus externen Einzugsgebietsteilen in das Modellgebiet zu berücksichtigen waren. Da nach [1] auch für die zum Untersuchungsgebiet benachbart gelegenen Gebiete ein ähnlicher Neubildungsrückgang ausgewiesen wurde wie für das Untersuchungsgebiet selbst, wurden die externen Zuflüsse durch Übertragung der zeitlichen Trendfunktion der Grundwasserneubildung (*Bild 7*) auf die Randströme klimabedingt vermindert.

Der Einfluss des Klimawandels ist über die Grundwasserneubildung hinaus grundsätzlich für alle bei der Modellierung der Grundwasserströmung als Randbedingungen wirkenden hydrologischen Größen zu betrachten.

Da die Havelwasserstände im Untersuchungsgebiet staugeregelt sind, liegt den Untersuchungen die Annahme zugrunde, dass das gegenwärtige Stauziel über den gesamten Untersuchungszeitraum gehalten werden kann. Wenn das nicht möglich ist und die Havelwasserstände absinken, wird das unten prognostizierte Absinken der Grundwasserstände verstärkt.

Zur klimabedingten Veränderung der Grundwasserdruckhöhen tief liegender prätertiärer GWL sind keine belastbaren Aussagen bekannt. Die Untersuchungen wurden auf Grund-

lage der Hypothese durchgeführt, dass sich klimabedingte Druckminderungen in den höher liegenden GWL den nicht am Wasserkreislauf teilnehmenden prätertiären Wässern nur langsam und abgeschwächt mitteilen. Aus diesem Grund wurden die Druckhöhen im Prätertiär als über den gesamten Untersuchungszeitraum unveränderlich angenommen. Sollte sich diese Annahme später als nicht zulässig erweisen, hätte dies auf die Aussagen über die künftigen Grundwasserstände der genutzten pleistozänen GWL nur einen geringen Einfluss während die unten prognostizierte Zunahme der geogen salinaren Versalzung geringer ausfiele. In *Bild 8* sind die wesentlichen durch den Klimawandel beeinflussten geohydraulischen Randbedingungen zusammengefasst. Unter deren Verwendung wurde die Entwicklung der Grundwasserdruckhöhen und der die Bilanz bildenden Grundwasserströme für den Zeitraum 2004 bis 2055 instationär berechnet.

In *Bild 9* sind die an der Grundwassermessstelle Wmh 2/85 MP2 gemessenen Grundwasserdruckhöhen durch die berechneten Ganglinien für das wahrscheinliche und das trockenste Szenario ergänzt. Diese Messstelle dokumentiert bereits seit Mitte der 70-er Jahre des 20. Jhds. deutliche Absenkungen des Grundwasserspiegels. Die simulierten Ganglinien für den Untersuchungszeitraum schreiben diesen Trend fort und widerspiegeln dabei die stochastische Überprägung der Eingangsdaten, so dass die für das trockenste Szenario berechnete Ganglinie zeitweilig auch über derjenigen für das wahrscheinlichste Szenario liegen kann. Im Trockenszenario fallen die Grundwasserstände an diesem Standort um 3,2 cm pro Jahr während dieser Wert für das wahrscheinliche Szenario bei 2,3 cm/Jahr liegt. Die hieraus resultierende Absenkung des Grundwasserspiegels beträgt über den Untersuchungszeitraum von 50 Jahren rund 1,1 bis 1,6 m.

Die in *Bild 10* veranschaulichte flächenhafte Veränderung der Grundwasserstände zeigt eine kontinuierliche Abnahme der klimabedingten Grundwasserstandsänderungen. Während am Rand des Einzugsgebietes bis zu 2,5 m Absenkung berechnet wurden, sind nahe der staugeregelten Havel nur noch etwa 0,2 m zu erwarten. Im engeren Fassungsraum kann der Grundwasserspiegel um 0,2 bis 0,5 m absinken. Einschränkungen bezüglich der technischen Fassbarkeit des Grundwassers durch die Vertikalfilterbrunnen sind deshalb nicht zu befürchten. Ökologische Restriktionen im Sinne der Einhaltung von Mindestwasserständen sind am Fassungsstandort nicht relevant.

Die Veränderung der einzelnen Bilanzkomponenten der Grundwasserströmung zeigt für die untersuchten Szenarien, dass die Rückläufigkeit des Dargebotes aus der Grundwasserneubildung einschließlich Randzufluss aus modellexternem Einzugsgebiet nahezu umgekehrt proportional durch einen verringerten Abfluss in die Havel kompensiert wird. Der mit den Brunnen gefasste Uferfiltratanteil der Rohwasserförderung nimmt nahezu proportional zum Rückgang des Dargebotes zu, bleibt aber bei den untersuchten Förderszenarien unter einem Anteil von

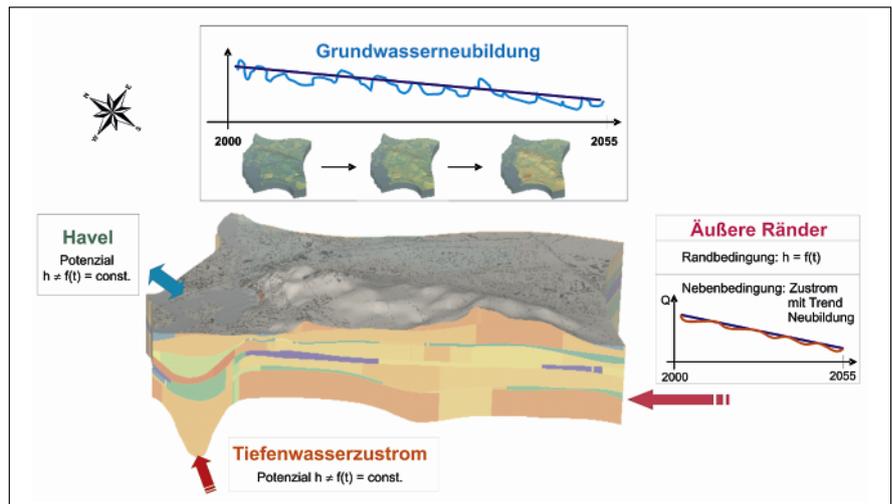


Bild 8. Ansätze wasserhaushaltlicher Randbedingungen.

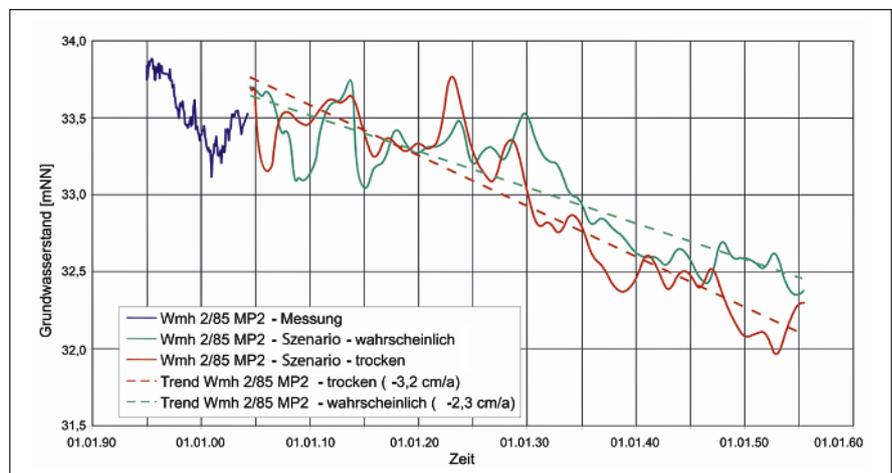


Bild 9. Für verschiedene Klimaszenarien an der Messstelle Wmh 2/85 (Hochflächenbereich) prognostizierter Gang der Grundwasserstände.

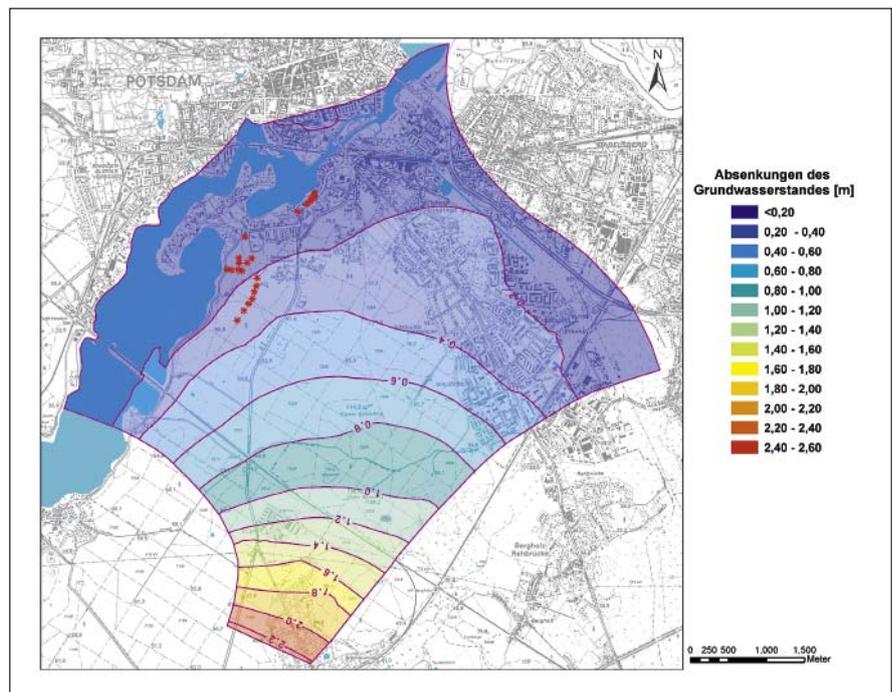


Bild 10. Abgeschätzte flächenhafte Veränderung der Grundwasserstände.

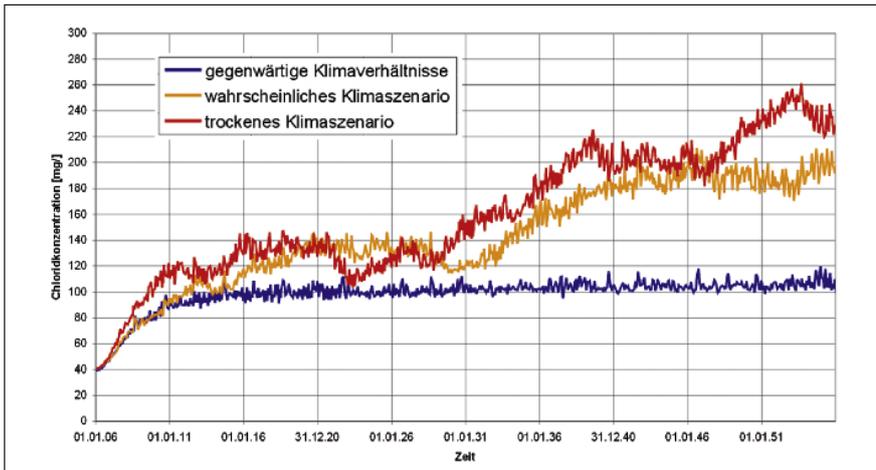


Bild 11. Abgeschätzte Chloridkonzentrationen im Rohwasser der Fassung Werkgelände.

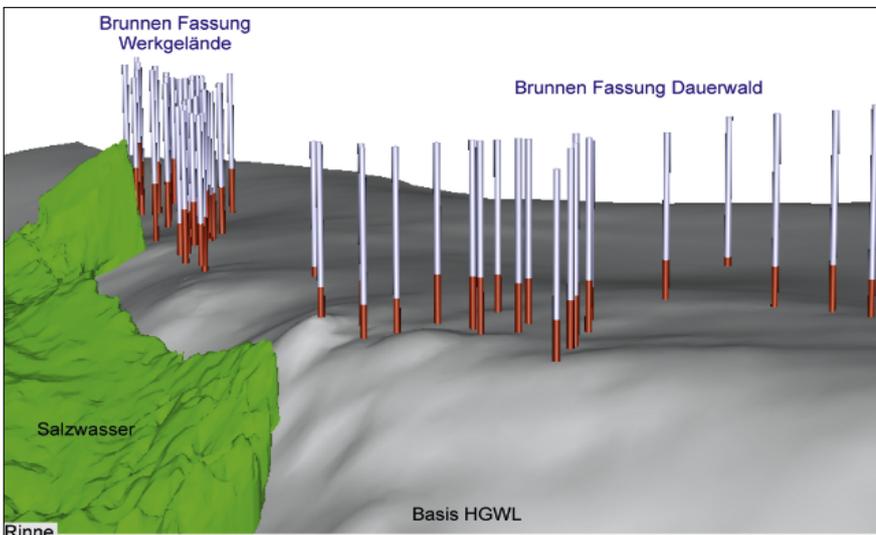


Bild 12a. 3D-Darstellung des Salzwasserzutritts aus der Rinne im Jahre 2055 bei Fortbestand aktueller Klimaverhältnisse (Brunnenfilter farblich abgesetzt dargestellt).

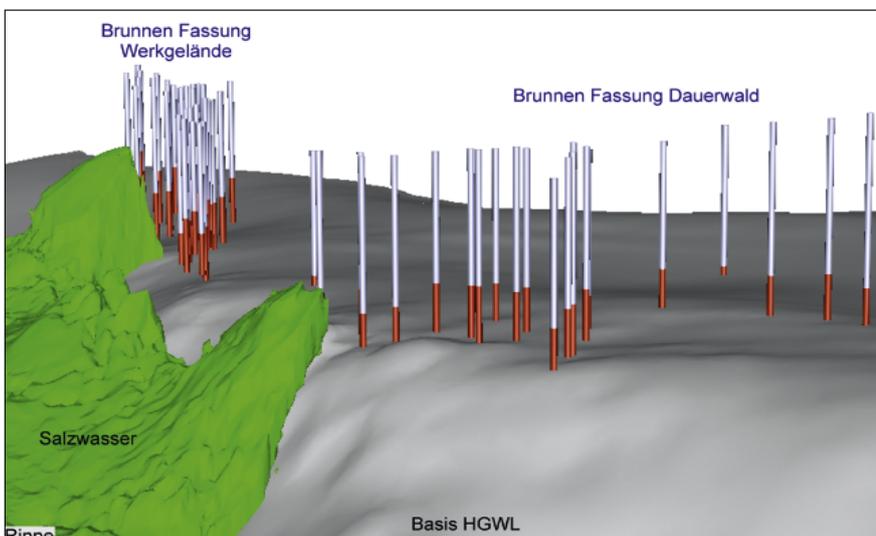


Bild 12b. 3D-Darstellung des Salzwasserzutritts aus der Rinne im Jahre 2055 bei wahrscheinlicher Klimaentwicklung.

10%. Dagegen erhöht sich die Liegendspeisung aus dem Prätertiär nur deutlich unterproportional. Die Einzugsgebietsfläche vergrößert sich infolge zunehmender Absenkung des Grundwasserspiegels nur geringfügig. Den Brunnen strömt verstärkt Grundwasser aus dem 3. und 4. GWL zu, das bei zuvor größerem Dargebot über die Havelrinne in die Havel abfließt.

7. Auswirkungen der Dargebotsänderungen auf die geogen salinare Beeinflussung der Grundwassernutzung

Den mit dem Stofftransportmodell ermittelten Ganglinien der Chloridkonzentration als Maß der geogen salinaren Beeinflussung im Rohwasser der Fassung Werkgelände für das trockene und das wahrscheinliche Klimaszenario ist in *Bild 11* ein Szenario unter der Annahme sich nicht verändernder Klimaverhältnisse bei sonst identischen Modellrandbedingungen gegenübergestellt. Der Anstieg der Chloridkonzentrationen auch bei der Bezugsvariante hat seine Ursache darin, dass die Berechnungen mit einer höheren Rohwasserförderung durchgeführt wurden, als sie der Ausgangssituation im Jahre 2004 zuzuordnen ist.

In Abhängigkeit vom betrachteten Klimaszenario und von den künftigen Fördermengen wird mit Bezug auf die Situation in 2004 ein Ansteigen der Chloridkonzentration im Rohwasser der Fassung Werkgelände um 80 bis 150% und im Gesamtrohwasser des Wasserwerks um 55 bis 95% ausgewiesen. Die Modellergebnisse weisen mit Bezug zu den absoluten Konzentrationswerten prinzipiell die Möglichkeit einer deutlichen Überschreitung des Grenzwertes für Chlorid nach TrinkwV im Rohwasser der Fassung Werkgelände und einer Verdoppelung der Chloridkonzentration im Gesamtrohwasser des WW aus. Diese Sachverhalte sind bei künftigen Planungen sowohl von Bewirtschaftungs- als auch von Überwachungsstrategien zu beachten.

Die zweckdienliche Überwachung der Chloridkonzentrationen im Grundwasser erfordert hinreichende Kenntnisse über die Konzentrationsentwick-

lung im Raum – also über die stattfindenden Strömungs- und Transportprozesse. Diesbezügliche dreidimensionale Auswertungen zeigen in den *Bildern 12a* und *12b* die berechneten Salzwasserströmungen zu den Brunnen anhand der ausgewählten Isokonzentrationsfläche für Chlorid von 500 mg/L mit und ohne Berücksichtigung des Klimawandels. Ein Konzentrationsanstieg ist – beeinflusst durch die erhöhte Dichte des Salzwassers – vornehmlich in der Nähe derjenigen Brunnen zu erwarten, die der Havelrinne am nächsten liegen. Im Bereich zwischen den Fassungen ist ein deutlich geringerer Anstieg der Chloridkonzentrationen zu erwarten.

8. Bewertung der Ergebnisse aus wasserwirtschaftlicher Sicht

Es ist zu befürchten, dass die Klimaänderungen einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Wasserdargebot im genutzten Einzugsgebiet und auf die Strömungsverhältnisse im Grundwasser haben. Signifikante Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit sind infolge zunehmenden Salzwasser-einflusses zu erwarten.

Die hydraulische Kommunikation des Grundwasserleiters mit oberirdischen Gewässern bewirkt einen Bilanzausgleich zwischen unterirdischem Abfluss in das Oberflächenwasser und der Fassung von Uferfiltrat. In Einzugsgebieten, die allein aus Grundwasserneubildung gespeist werden, wird der Einfluss der Klimaänderungen auf das Grundwasserdargebot viel deutlicher ausfallen. Dies ist bei der Bilanzplanung der anderen Potsdamer Wasserwerke in stärkerem Maß zu berücksichtigen.

Die in den untersuchten Szenarien ausgewiesene Zunahme der Versalzung im Rohwasser der Fassung Werkgelände kann den Bereich des Grenzwertes nach Trinkwasserverordnung für Chlorid von 250 mg/L erreichen. Nach Mischung mit dem Rohwasser aus der Fassung Dauerwald kann der Grenzwert aber sicher eingehalten werden. Da auch Brunnen im Dauerwald versalzungsgefährdet sind, wie die Ereignisse der Vergangenheit zeigten, ist der Problematik der Brunnenbewirtschaftung weiterhin große Aufmerksamkeit zu widmen. Ziel der Grundwasserbewirtschaftung der EWP ist es deshalb, den Chloridgrenzwert dauerhaft zu unterschreiten, um eine gute Trinkwasserqualität zu gewährleisten. Wichtiger Bestandteil dieses Konzeptes ist die konsequente Anpassung und Durchführung von Monitoringprogrammen.

In der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die Menge und Beschaffenheit des Grundwassers unbedingt zu beachten. Der Minderung des nutzbaren Dargebotes sind in der Bilanz reduzierte Bedarfsgrößen infolge von Wassersparmaßnahmen und sinkender Bevölkerungszahlen gegenüberzustellen. In Potsdam wird jedoch mit einer Zunahme der Bevölkerung in den nächsten 20 Jahren gerechnet, weshalb der Wasserbedarf noch leicht steigen kann.

9. Schlussfolgerungen

Da die Klimaänderungen einen bereits nachweisbaren Einfluss auf das Grundwasserdargebot haben, wird die Auseinandersetzung mit dem Klimawandel Bestandteil wasserwirtschaftlicher Routinearbeit. Bislang zeigen alle Untersuchungsergebnisse, dass die Wasserversorgung nach Menge und Beschaffenheit auch langfristig mit den vorhandenen Fassungsstandorten gesichert werden kann. Diese Einschätzung der Dargebotsentwicklung wird durch das laufende Monitoring regelmäßig überprüft. Dabei werden die üblichen Datenerhebungen zu Grundwasserständen, Fördermengen und der hydrogeochemischen Entwicklung wie folgt ergänzt:

- Erfassung meteorologischer und klimatologischer Daten
- Entwicklung von Überwachungsmethoden zur Einschätzung der Dargebotssituation
- Detaillierte Betrachtung zur Entwicklung der Dargebotssituation etwa alle 5 Jahre
- Regelmäßige Verbesserung der Bewertungsmodelle durch Anpassung an den wissenschaftlich-technischen Fortschritt und zwischenzeitlich erweiterte Grundlagendaten

Die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser-Dargebot der anderen Potsdamer Wasserwerke sind in den nächsten Jahren ebenfalls zu untersuchen.

Literatur

- [1] *Gerstengarbe, F.-W.* u.a.: PIK Report No. 83 – Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, 2003.
- [2] *Bates, B. C., Kundzewicz Z. W., Wu, S. and Palutikof, J. P.*, Eds.: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 2008, 210 pp.
- [3] *Monnikhoff, B.*: WASY Software ArcSIWA® 1.1 – Benutzerhandbuch. WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung, WASY GmbH, Berlin, 2001.
- [4] *Diersch, H.-J.*: WASY Software Feflow® 5.2 Finite Elemente Subsurface Flow & Transport Simulation System. WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung, WASY GmbH, Berlin, 2005.

Die Softwareprodukte Feflow® und ArcSIWA® sind eingetragene Warenzeichen der DHI-WASY GmbH.

Eingereicht: 20.2.2008
 Korrektur: 25.6.2008
 Begutachtet im Peer-Review-Verfahren