

# Auswirkungen des Klimawandels auf eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung

Die Grundwasserbewirtschaftung ist in ausgeprägtem Maß von der Witterung abhängig. Es ist zu klären, inwieweit Klimatrends und Extremwetter den Grundwasserhaushalt beeinflussen und in welchem Maß Anpassungsstrategien für ein nachhaltiges Grundwassermanagement zu entwickeln sind.

Die Trinkwasserversorgung der Bundesrepublik Deutschland erfolgt zum weit überwiegenden Anteil aus dem Grundwasser. Als Folge des ausgeprägten Bevölkerungswachstums in den 1960er- und 1970er-Jahren wurden deshalb auch die Grundwasserentnahmen zur Trinkwasserversorgung erhöht. Aufgrund des Wirtschaftswachstums insbesondere im produzierenden Gewerbe stiegen zudem die gewerblichen und industriellen Grundwasserentnahmen bis in die 1980er-Jahre. Viele Jahre standen dementsprechend Nutzungskonflikte mit Forst und Naturschutz im Vordergrund der Grundwasserbewirtschaftung, da grundwasserabhängige Landökosysteme durch Grundwasserabsenkung geschädigt wurden. Auch Setzrissschäden an der Bebauung und erhebliche Investitionen für eine Umstellung der landwirtschaftlichen Beregnungstechnik auf Tiefbrunnen waren die Folge großräumiger Grundwasserabsenkungen. Periodisch verstärkten witterungsbedingte Trockenperioden (z. B. Anfang der 1970er-

und Anfang der 1990er-Jahre in Südwestdeutschland) die Auswirkungen niedriger Grundwasserstände.

Demgegenüber gerieten in der bundesweit aufgetretenen witterungsbedingten Periode ausgeprägt hoher Grundwasserstände Ende der 1990er-Jahre Vernässungsprobleme in Siedlungsgebieten und Infrastruktureinrichtungen erstmals in das breite öffentliche Bewusstsein. In einer Umfrage des Bundes der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau [1], an der sich 730 Kommunen beteiligten, meldeten u. a. mehr als 50 Prozent der größeren Städte Probleme mit Kellervernässungen. In einigen Kommunen bedrohte ansteigendes Grundwasser sogar die Infrastruktur (U-Bahn, Bauwerke der Kanalisation, Unterführungen, Depotien usw.), der Gewässerschutz war zeitweise als Folge einer verminderten Reinigungsleistung der Kläranlagen aufgrund hoher Fremdwasserzuflüsse aus dem Grundwasser beeinträchtigt.

Die witterungsbedingten Phasen ausgeprägt niedriger bzw. hoher Grundwasserstände sind es, die die Nutzungskonflikte zwischen Naturschutz und Forst auf der einen sowie Siedlungsschutz und Landwirtschaft auf der anderen Seite aufzeigen (Abb. 1).

Oft wurde und wird die Frage gestellt, inwieweit der Klimawandel Ursache für die extremen Grundwasserstände ist. Zwar erklären vielfach andere anthropogene Faktoren, wie z. B. die Verringerung der Grundwasserförderung durch Industrie und öffentliche Wasserversorgung, die beobachteten Vernässungen ausreichend und quantifizieren den Grundwasseranstieg zutreffend, dennoch ist die Frage offen, in welchem Ausmaß der Klimawandel zukünftig die Grundwasserbewirtschaftung beeinflussen und möglicherweise Ursache dafür sein wird, dass sich die in der Vergangenheit aufgetretenen Probleme noch verschärfen.

Im Förderschwerpunkt klimazwei ([www.klimazwei.de](http://www.klimazwei.de)) des Bundesministe-



Abb. 1: Nutzungskonflikte bei extremen Grundwasserständen

Quelle: Dr. Kämpf u. a.

|                   |   |
|-------------------|---|
| <b>Wetter:</b>    | Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt              |
| <b>Witterung:</b> | Wetter an einem Ort über einen Zeitraum mehrere Tage oder Wochen betrachtet               |
| <b>Klima:</b>     | der für eine Region (bzw. eine größere Klimazone) typische jährliche Ablauf der Witterung |

**Tabelle 1: Berechnungsmengen im Hessischen Ried für die Jahre 2002 bis 2006**

| Berechnungsmenge (m³/a) |            |            |            |            |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 2002                    | 2003       | 2004       | 2005       | 2006       |
| 17.650.000              | 27.300.000 | 18.300.000 | 17.700.000 | 14.000.000 |

Quelle: Dr. Kämpf u. a.

riums für Bildung und Forschung (BMBF) geht es zum einen darum, die Verringerung der Emission klimaschädlicher Treibhausgase in der Gesellschaft voranzutreiben, zum anderen gilt es, Anpassungsstrategien an verändertes Klima und Wetter zu entwickeln. Voraussetzung eines in diesem Sinne zielgerichteten Handelns ist zumindest eine weitmöglichst abgesicherte Vorstellung von den Auswirkungen von Klima und Wetter auf die verschiedenen Bereiche des menschlichen Handelns, die vom Wetter abhängen. Unter dem Vorhabentitel AnKliG „Anpassungsstrategien an Klimatrends und Extremwetter und Maßnahmen für ein nachhaltiges Grundwassermanagement“ ([www.anklig.de](http://www.anklig.de)) wird seit August 2006 ein Forschungsprojekt durch das BMBF gefördert, in dem die Hessenwasser GmbH & Co. KG, das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) und die Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH (BGS Umwelt) sich gemeinsam das Ziel gesetzt haben, die Auswirkungen von Klimatrends und Extremwetter auf das Grundwasser exemplarisch für den großräumigen Lockergesteinsaquifer „Hessisches Ried“ und den angrenzenden Kluffgrundwasserleiter des Odenwaldes zu quantifizieren.

### Untersuchungsgebiet

Im Odenwald dominieren dezentrale lokale Wasserversorgungsstrukturen (z. B. durch Quellen). Wegen der günstigen hydrogeologischen Bedingungen existieren dagegen im Oberrheingraben zahlreiche Wasserwerke, die nicht nur den örtlichen Wasserbedarf decken, sondern zur regionalen Wasserversorgung genutzt werden. Aus dem hessischen Teil des Oberrheingrabens wird zusätzlich der Rhein-Main-Ballungsraum mit Trinkwasser versorgt. Aufgrund vielfältiger Nutzungskonflikte in Folge der intensiven Grundwasserförderung wurden im Hessischen Ried frühzeitig

umfassende Strategien und Maßnahmen für ein nachhaltiges Grundwassermanagement etabliert, die über Hessen hinaus Maßstäbe gesetzt haben. 1999 wurde der bisher einzige Grundwasserbewirtschaftungsplan nach Wasserhaushaltsgesetz in Deutschland aufgestellt. Die wasserrechtlich zulässigen Fördermengen sind an Richt- und Grenzwerte von Grundwasserständen ausgewählter Messstellen gekoppelt, die im Grundwasserbewirtschaftungsplan festgesetzt sind. Die kontinuierliche Überwachung der Messwerte basiert in Teilbereichen inzwischen auf www-Techniken ([www.grundwasser-online.de](http://www.grundwasser-online.de)). Hierbei werden die Informationen zu Betrieb und Monitoring, die bei den Wasserwerken lokal auf deren Datenbanken gehalten werden, automatisiert per Internet ausgetauscht, in einen wasserwerksübergreifenden räumlichen Zusammenhang gebracht (z. B. Grundwassergleichenpläne) und bei entsprechenden Nutzungsrechten Dritten verfügbar gemacht (z. B. Aufsichtsbehörden, Ingenieurbüros). Ferner wurden in Zuordnung zu großen Wasserwerken sukzessive Infiltrationsanlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung eingerichtet. Durch die Versickerung von Trinkwasserqualität aufbereitetem Rheinwasser ergeben sich einerseits Möglichkeiten einer Dargebotserhöhung, andererseits können die mit der Förderung verbundenen Grundwasserspiegelabsenkungen zur Vermeidung von Setzungsschäden auf ein ökologisch verträgliches Maß reduziert werden. Als Konsequenz der jüngsten Nassperiode wiederum wurden in Siedlungsgebieten Anlagen ausschließlich zur Begrenzung des Grundwasseranstiegs installiert, um Gebäude und Infrastruktur vor Vernässung zu schützen.

Damit liegen für die Region bereits Erfahrungen zu möglichen Instrumentarien und Technologien vor, die vor dem Hintergrund

des Klimawandels zukünftig verstärkt Bestandteil eines nachhaltigen Grundwassermanagements sein können. Die bisherigen Erfahrungen haben aber auch gezeigt, dass in Regionen wie dem Hessischen Ried mit vielfältigen Nutzungsansprüchen auf engstem Raum eine verträgliche Grundwasserbewirtschaftung eine hochkomplexe politische Aufgabenstellung mit zahlreichen widerstreitenden Akteuren und Wirkungsbereichen ist.

### Klimaänderungen

Die möglichen Änderungen des zukünftigen Klimas werden aus unterschiedlichen Emissionsszenarien der Treibhausgase abgeleitet, die aus Szenarien unterschiedlicher globaler Entwicklungen von Bevölkerung, Ökonomie, Technologie, Energie und Landwirtschaft resultieren. Diese Szenarien wurden weltweit für die globalen Klimaberechnungen durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) abgestimmt. In Berechnungen mit globalen Klimamodellen werden durchgängige Zeitreihen meteorologischer Daten als Tageswerte für verschiedene Szenarien entwickelt. Für das laufende Forschungsvorhaben stammen diese von den jüngsten Simulationsläufen zur Entwicklung des Klimas bis zum Jahr 2100 (ECHAM 5 – Läufe des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg).

Die Regionalisierung dieser globalen Berechnung zum Klimawandel erfolgte mit dem statistischen Verfahren WETTREG. Es stehen für das Untersuchungsgebiet Zeitreihen meteorologischer Stationsdaten von 1960 bis 2100 auf Tageswertbasis zur Verfügung, die im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Umweltbundesamtes erarbeitet wurden [2]. Ergänzend werden für ausgewählte Szenarien die Zeitreihen des statistischen Verfahrens WETTREG mit dem dynamischen Verfahren des CLM ([www.clm-community.eu](http://www.clm-community.eu)) verglichen, um abschätzen zu können, inwieweit unterschiedliche Ansätze der Regionalisierung die meteorologischen Eingangsdaten zu den Grundwasserhaushaltsbetrachtungen beeinflussen.

Die Zeitreihen meteorologischer Daten stehen für die IPCC-SRES-Szenarien A1B, A2 und B1 zur Verfügung. Aus dem Szenario A2 resultiert für Mitteleuropa einer der höchsten Temperaturanstiege am Ende des Betrachtungszeitraums, während das Szenario A1B einen mittleren und das Szenario B1 einen im Vergleich aller Szenarien relativ geringen Temperaturanstieg zur Folge hat.

Eine Analyse der für das Untersuchungsgebiet repräsentativen Klima- und Niederschlagsstationen zeigt, dass unabhängig von den Klimaszenarien die Jahressummen des Niederschlags weitgehend unverändert bleiben werden. Es zeigt sich allerdings eine deutliche Verschiebung der Niederschlagsverteilung innerhalb eines Jahres. Diese saisonalen Verschiebungen in der Niederschlagsverteilung sind im Hessischen Ried deutlicher ausgeprägt als im Odenwald.

Im Hessischen Ried werden die Winterniederschläge stark zunehmen. In den Szenarien A1B und A2 beträgt der Niederschlagsanstieg rund 20 Prozent. Er ist im gemäßigten Szenario B1 etwas geringer. Dagegen werden die Sommerniederschläge szenarienunabhängig um rund 25 Prozent zurückgehen. Auch die Herbstniederschläge werden um rund 20 Prozent (Szenarien A1B und A2) bzw. rund 10 Prozent im Szenario B1 abnehmen.

Dagegen ist die mögliche Verdunstung stärker mit den einzelnen Klimaszenarien korreliert. Sie steigt entsprechend im Szenario A2 am stärksten an. Erwärmung und der Anstieg in der möglichen Verdunstung sind deutlich korreliert. Bisherige Extremommer wie in 2003 werden zukünftig häufiger zu erwarten sein.

### Grundwasserneubildung

Die flächenhafte Grundwasserneubildung ist bei der Bilanzierung des Wasserhaushaltes regionaler Aquifersysteme meist das größte positive Bilanzglied. Insbesondere in Regionen mit einer ausgeglichenen oder sogar negativen klimatischen Wasserbilanz kommt einer fundierten Quantifizierung der Grundwasserneubildung für die Beurteilung des nutzbaren Grundwasserdargebots eine große Bedeutung zu. Diese Regionen liegen überwiegend in Ostdeutschland. In Westdeutschland hat der nördliche Oberrheingraben ebenfalls derartige klimatische Verhältnisse.

Kennzeichnend für diese Regionen ist u. a., dass die Jahressummen der Grundwasserneubildung durch eine hohe Variabilität geprägt sind. In Trockenjahren beträgt die Grundwasserneubildung nur wenige mm/a, unter verdunstungsintensiven Flächen kommt sie vollständig zum Erliegen. In Nassjahren beträgt sie dagegen mehrere 100 mm/a und damit ein Vielfaches der Neubildungsrate eines Trockenjahres. Entsprechend ausgeprägt sind auch die Schwankungen der Grundwasserstände zwischen nassen und trockenen Witterungsperioden.

Im Rahmen des integrierten Klimaschutzprogramms Hessen (INKLIM 2012) wurden die Klimaveränderungen mit ihren Auswirkungen auch auf die Grundwasserneubildung quantifiziert. Über ein Bodenwasserhaushaltsmodell sowie ein Regressionsmodell wurde die Grundwasserneubildung flächendifferenziert für Dezennien bis 2050 auf der Grundlage verschiedener ECHAM 4-Simulationen und Regionalisierungen nach [3] ermittelt. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass selbst aus einem moderaten Emissionsszenario, das von einem gemäßigten Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen ausgeht, in Hessen eine deutliche Erhöhung der Grundwasserneubildung resultiert [4], wobei die zukünftig mittleren Grundwasserneubildungsraten denen von Nassperioden der Vergangenheit entsprechen werden. Mit diesen Aussagen ist jedoch noch nicht geklärt, in welchem Maß sich die zukünftigen Grundwasserstandsschwankungen ausbilden werden und welche Grundwasserhöchststände und daraus resultierende Konflikte zu erwarten sind. Die gegebenenfalls im Rahmen der Grundwasserbewirtschaftung erforderlichen Anpassungsstrategien sind maßgeblich von einer Klärung dieser Fragestellung abhängig.

In methodischer Ergänzung zu den schon vorgenommenen Prognosen der Grundwasserneubildung auf Grundlage eines Baseflow-Indexes (BFI), der detaillierte Abflussmessungen in Flüssen und Bächen systematisch ausgewertet (INKLIM 2012), werden mit physikalisch begründeten Ansätzen zur Modellierung des Bodenwasserhaushalts die Interaktion von Boden, Pflanzen und Atmosphäre und die davon abhängige Grundwasserneubildung durch Langzeitkontinuumsimulation lokal differenziert ermittelt. Als zentrales Prognoseinstrumentarium kommt im Hessischen Ried ein dreidimensionales, instationäres Grundwassermodell zum Einsatz, das zunächst anhand des gemessenen Klimas seit 1960 kalibriert und validiert wird. In Prognoserechnungen werden dann auf Grundlage der Klima- und Wetterprognosen bis 2100 die Veränderungen im Bodenwasser- und Grundwasserhaushalt quantifiziert.

Für den Bereich des Odenwaldes wird nach dem BFI-Konzept vor allem die Veränderung der Quellschüttungen als Folge des Klimatrends genauer betrachtet, da die Schüttung von Quellen häufig besonders sensibel auf Änderungen im Dargebot reagiert. Die Sicherheit der hier weitgehend dezentral organisierten Wasserversorgung ist davon abhängig.

Nicht nur das Klima bestimmt die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände. Die Nutzung des Grundwasserleiters zur Trinkwasserversorgung und zur landwirtschaftlichen Beregnung sind ebenfalls maßgebliche zeitabhängige Bewirtschaftungsgrößen, die zudem auch in ausgeprägtem Maß von der Witterung abhängig sind. Inwieweit sich dieser Bedarf an Grundwasser bis zum Prognosehorizont 2100 voraussichtlich verändern wird, ist den auf eine zukünftig andere Grundwasserneubildung beruhenden Veränderungen quantitativ gegenüberzustellen.

### Trink- und Brauchwasserversorgung

Die prognostizierte Klimaänderung lässt längere Trockenphasen mit höheren Tagestemperaturen (Zunahme von Hitzetagen über 30 °C) und damit einen über einen längeren Zeitraum von bis zu mehreren Wochen anhaltenden Spitzenwasserbedarf erwarten. Trockenperioden, die der damals als Klimageschehen eingestuft Situation des Jahres 1976 ähneln, können somit zukünftig häufiger oder sogar regelmäßig vorkommen. Andererseits wird allgemein davon ausgegangen, dass aufgrund der veränderten Strukturen in den Versorgungsgebieten und des verringerten Pro-Kopf-Verbrauchs ein Spitzenwasserbedarf der Größenordnung wie 1976 heute nicht mehr zu erwarten ist.

In dem heißen Sommer des Jahres 2003 war der Wasserverbrauch zwar über einen längeren Zeitraum deutlich erhöht, der Verlauf des Spitzenlastereignisses ist aber durch das Niederschlagsgeschehen überprägt und aus diesem Grund abgeschwächt. 2003 ist somit als Jahr mit ausgeprägtem Spitzenwasserbedarf und relativ hohen Monats- und Jahresabgabemengen, jedoch nicht als wasserwirtschaftliches Extremjahr anzusehen. Bei einer länger andauernden Trockenheit, wie sie für die zukünftige klimatische Entwicklung erwartet wird, muss mit einer deutlich höheren Spitzenlast gerechnet werden.

In den Jahresmengen unterliegen die Gesamtentnahmen zur Trinkwasserversorgung und zur Brauchwasserversorgung derzeit relativ geringen Schwankungen. Die mittlere Gesamtentnahme liegt für das Hessische Ried bei ca. 140 Mio. m<sup>3</sup>/a und stieg auch in Trockenjahren wie 2003 nur um rund 6 Prozent an.

Der Bedarf an Trinkwasser wird wahrscheinlich in stärkerem Maße von der demografischen Entwicklung abhängen. Als Grundlage für die aufzustellende Wasserbedarfs-

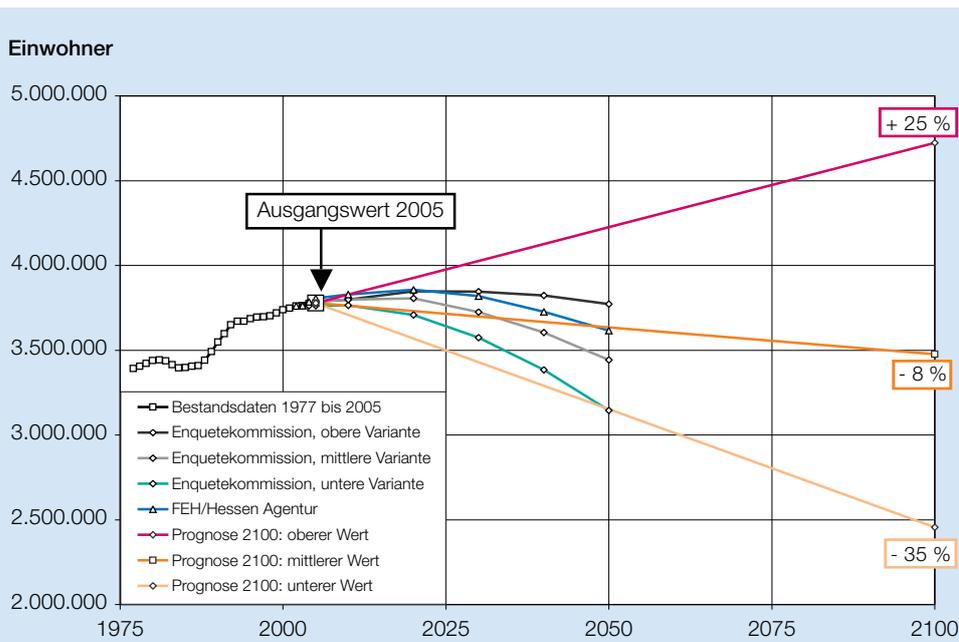


Abb. 2: Bevölkerungsprognose für Süd Hessen 2100

Quelle: [5]

prognose wurde eine Bevölkerungsprognose für das Jahr 2100 benötigt. Da eine solche Prognose für den Untersuchungsraum nicht vorlag, wurden die vorliegenden längerfristigen Bevölkerungsprognosen für Süd Hessen, Hessen und Deutschland dokumentiert und bewertet und auf dieser Basis eine Bevölkerungsprognose für den Untersuchungsraum abgeleitet. Datengrundlagen hierfür sind die vorliegenden Prognosen der Vereinten Nationen (United Nations, UN), der Europäischen Gemeinschaften (European Union, EU), des Statistischen Bundesamtes, des Hessischen Statistischen Landesamtes und anderer Stellen.

Das Jahr 2100 wird nur von einer Prognose der UN für 2300 mit einem Zahlenwert für ganz Deutschland erfasst. Für die vorliegende Aufgabenstellung wurden die Prognosen für Süd Hessen 2050 unter Verwendung dieser Prognose der UN auf den Prognosehorizont 2100 extrapoliert. Hierfür wurden drei Szenarien aufgestellt, die den oberen und unteren Rand sowie ein mittleres Szenario abbilden (Abb. 2). Ausgehend von 3,78 Mio. Einwohnern Süd Hessens im Jahr 2005 ergeben sich demnach für 2100 Einwohnerzahlen von rund 4,72 Mio. als oberer Wert, 3,48 Mio. als mittlerer Wert und 2,46 Mio. als unterer Wert. Dies entspricht einer Bandbreite von -35 bis +25 Prozent bei einem Mittelwert von -8 Prozent [5].

Für die aufzustellende Wasserbedarfsprognose bis 2100 ist die Bevölkerungsprognose mit der erwarteten Entwicklung des verbraucherspezifischen Bedarfs zu koppeln.

Hierzu wurden zunächst die bekannten Entwicklungstrends in den Verbrauchssektoren und bei den relevanten Einflussfaktoren dokumentiert und bewertet. So ist bekannt, dass der Pro-Kopf-Verbrauch im Bereich Toilettenspülung infolge der Reduzierung der Spülmenge von 9 auf 6 Liter im Zeitraum 1985 bis etwa 2015/2035 um etwa ein Drittel oder 15 l/E · d zurückgeht. Im Bereich von Wasch- und Spülmaschinen wurden die Sparpotenziale zwischen etwa 1980 und 2005 weitgehend umgesetzt. Bedarfserhöhungen sind z. B. durch die Trends zu kleinen Haushalten und „Wellness“ zu erwarten. Die mittelfristige Entwicklung des Pro-Kopf-Bedarfs ist damit relativ gut abzuschätzen.

Für die langfristige Entwicklung fehlen derzeit dagegen entsprechende fachliche Grundlagen. Für die Abschätzung der entsprechenden Entwicklungstrends werden daher die relevanten Vorgaben, Ziele und Randbedingungen dokumentiert. Grundlagen hierfür sind neben einer umfassenden Literaturrecherche Interviews mit verschiedenen Akteuren. Neben wasserwirtschaftlichen und technischen Aspekten werden dabei vor allem auch die Ziele der Nachhaltigkeit (Agenda 21), demografische, strukturelle, ökonomische, klimatische und andere Aspekte berücksichtigt, die diese Entwicklung beeinflussen können.

Im Ergebnis ist beabsichtigt, daraus eine Bandbreite für den Pro-Kopf-Bedarf im Jahr 2100 abzuleiten und der aufzustellenden Wasserbedarfsprognose entsprechende Szenarien zugrunde zu legen.

## Landwirtschaftliche Berechnung

Unter den klimatischen Bedingungen des Hessischen Rieds ist eine wirtschaftliche Pflanzenproduktion schon jetzt nur durch die Verabreichung von Zusatzwassergaben möglich. Das Hessische Ried ist eine verbrauchernahe Region, in der zur Versorgung der Ballungsräume Rhein-Main und Rhein-Neckar neben traditionellen landwirtschaftlichen Kulturen Sonderkulturen mit einem vergleichsweise hohen Beregnungsbedarf angebaut werden. Die Grundwasserentnahmen für die benötigte Zusatzwassermenge liegen zwischen wenigen Mio. m<sup>3</sup>/a (Nassjahr) und rund 30 Mio. m<sup>3</sup>/a (Trockenjahr 2003, Tab. 1). Diese Zahlen belegen, dass die Witterung einen extremen Einfluss auf die verabreichte Menge an Zusatzwasser ausübt. Zudem verstärken sich in der landwirtschaftlichen Berechnung die Witterungseinflüsse auf das Grundwasser, da deren Bedarf in Trockenperioden am größten ist, wenn sich die Grundwasserstände als Folge verringerter Grundwasserneubildung ohnehin auf relativ niedrigem Niveau bewegen.

Es ist anzunehmen, dass der Bedarf an Zusatzwasser bei den angebauten Kulturen im Sommerhalbjahr aufgrund der prognostizierten Klimaveränderung steigen wird. Dies betrifft sowohl die Anzahl der Beregnungsgaben (Menge, Zeitraum) pro Jahr als auch die Ausweitung der Beregnungsflächen. Mit dieser Entwicklung wäre eine erhebliche Zunahme des Zusatzwasserbedarfs in der Pflanzenproduktion verbunden.

Derzeit wird im HLUg eine Studie zur Abschätzung des zukünftigen Beregnungsbedarfs durchgeführt. In Form einer Bestandsaufnahme wird die Ist-Situation der landwirtschaftlichen Berechnung im Hessischen Ried erfasst:

- erschlossene Beregnungsflächen und Beregnungsmengen in der Vergangenheit für Normal-, Nass- und Trockenjahre
- Zusammenstellung des Wasserbedarfs (zeitlich und absolut) für verschiedene Kulturen

Weiterhin werden zur Sicherstellung einer wirtschaftlichen Pflanzenproduktion unter veränderten klimatischen Bedingungen die Bemessung und zeitliche Platzierung von Beregnungsgaben optimiert. Dies schließt die Entwicklung und Prüfung von praxistauglichen Verfahren zur laufenden Kontrolle der Bodenfeuchte sowie des Wasserstatus der Pflanze ein.

## Ziele und Ausblick

Im Sinne eines integrierten Grundwasser-managements sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Quantifizierung der Veränderungen im Wasserbedarf
- Bewertung der Sicherheit dezentraler Wasserversorgungsstrukturen
- Ermittlung des Einflusses von Klimatrends und Extremwetter auf Hoch-/Tiefstände des Grundwassers
- Eingrenzung des zu erwartenden Ausmaßes von grundwasser verbundenen Nutzungskonflikten
- Aufzeigen von Möglichkeiten und Grenzen einer gesteuerten Grundwasserbewirtschaftung zur Kompensation der Auswirkungen von Klimatrends und Extremwetter
- Strategien zur Einbeziehung der klimabedingten Veränderungen im Grundwasserhaushalt in ein integriertes Wassermanagement

Die Übertragung und Verallgemeinerung der Ergebnisse des dargestellten Forschungsvorhabens auf andere Regionen Deutschlands werden den Kenntnisstand bezüglich der Relevanz der vorhersehbaren Veränderungen deutlich verbessern. Die Untersuchungsergebnisse zur Effizienz möglicher Maßnahmen zur Kompensation klimabedingter Veränderungen des Grundwasserhaushalts wie zum Beispiel

- die Ausweitung des quantitativen und qualitativen Monitorings,
- der Bau von Anlagen zur Grundwasseranreicherung und Schaffung von Verbundlösungen,
- die grundwasserstandsorientierte Verteilung der Fördermengen in Verbundwasserwerken,
- Maßnahmen zur Begrenzung des Grundwasseranstiegs in Siedlungsbe-reichen

können direkt auf andere Regionen übertragen werden.

Als bedeutsames Feld von Anpassungsmaßnahmen seien über die direkte Grundwasserbewirtschaftung hinaus der Weinbau, der Obstbau, die Landwirtschaft und insbesondere die Forstwirtschaft genannt. Dort wird zum Beispiel mit den heutigen Kulturbegründungen die Grundlage für den Wald in 50 bis 150 Jahren gelegt. Neben der Entwicklung oben genannter Maßnahmen, die direkt auf den Grundwasserspiegel einwirken,

ermöglichen die im beantragten Vorhaben quantifizierten Veränderungen des Grundwasserstands und des Bodenwasserhaushalts in ihrer zeitlichen Dynamik (zum Beispiel bezüglich der Dauer von Stressphasen) erstmals eine fundierte Weiterentwicklung der zukünftig zu verfolgenden Strategien der Forst- und Landwirtschaft sowie des Wein- und Obstanbaus. Die Implementierung der in dem Forschungsvorhaben als zielgerichtet nachgewiesenen Methoden in die Praxis auch dieser genannten Landnutzer ist erforderlich und wird verstärkt nachgefragt.

### Literatur:

- [1] Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.: Nutzungskonflikte bei hohen Grundwasserständen – Lösungsansätze. Statusbericht 1/2003.
- [2] Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp, F.: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen 204 41 138, 2007.
- [3] Enke, W.: Anwendung eines statistischen Regionalisierungsmodells auf das Szenario B2 des ECHAM4 OPRC3 Klima-Simulationslaufs bis 2050 zur Abschätzung regionaler Klimaveränderungen für das Bundesland Hessen (INKLIM 2012). Abschlussbericht 2003.
- [4] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen (INKLIM 2012) Projektbaustein II. Abschlussbericht 2005.
- [5] Mikat, H.; Wagner, H.; Roth, U.: Die demografische Entwicklung als Grundlage für eine Wasserbedarfsprognose bis 2100. Wasser und Abfall (in Vorbereitung).

## Autoren:

Dr.-Ing. Markus Kämpf  
Dr.-Ing. Heiko Gerdes  
Brandt · Gerdes · Sitzmann  
Umweltplanung GmbH  
An der Eschollmühle 28  
64297 Darmstadt  
Tel.: 06151 9456-0  
Fax: 06151 9456-80  
E-Mail: kaempf@bgsumwelt.de  
gerdes@bgsumwelt.de  
Internet: www.bgsumwelt.de

Dr. Hermann Mikat  
Hessenwasser GmbH & Co. KG  
Tanusstr. 100, 64521 Groß-Gerau  
Tel.: 069 25490-0  
Fax: 069 25490-7009  
E-Mail: hermann.mikat@hessenwasser.de  
Internet: www.hessenwasser.de

Dr. Georg Berthold  
BSc Hons Geol/MSc GIS Mario Hergesell  
Hessisches Landesamt für Umwelt  
und Geologie  
Rheingastr. 186  
65203 Wiesbaden  
Tel.: 0611 6939-0  
Fax: 0611 6939-555  
E-Mail: g.berthold@hlug.de  
m.hergesell@hlug.de  
Internet: www.hlug.de

Dr.-Ing. Ulrich Roth  
Auf der Hardt 33  
56130 Bad Ems  
Tel.: 02603 3140  
Fax: 02603 3808  
E-Mail: Dr.Roth-BadEms@t-online.de

Kabeleinführungformteile  
druckwasserdichte Türen, Pass- und  
Ausbaustücke · Geländer · Leitern · Treppen

## Rohrdurchführungen & Abdichtungskonstruktionen

Standardmäßig oder speziell gefertigt.  
Als Stahlschweißkonstruktion oder aus Edelstahl.

**Walther Müller & Co. KG**

Stormarnstraße 1-3 · 22844 Norderstedt

eMail: Walther-Mueller@t-online.de

www.Walther-Mueller.de

Tel. 040 / 30 98 89 00

Fax 040 / 30 98 89 10

DIN EN ISO  
9001:2000  
Zert.-Nr.  
SEE 0727