

# Bodenwasserhaushaltsmodellierung in der Planungspraxis: Ein geplantes Wasserwerk in der Rheinaue

*Die Anforderungen an Wasserrechtsanträge sehen die Quantifizierung von Veränderungen im Bodenwasserhaushalt bei Grundwasserentnahmen vor. Was beim Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells zu beachten ist und wie die Modellergebnisse im Rahmen einer Vogelschutz-Verträglichkeitsprüfung am Beispiel des Mittelspechts (*Dendrocopos medius*) interpretiert werden können, soll in diesem Beitrag aufgezeigt werden.*

Von Tobias Wirsing, Guido Waldenmeyer, Dieter Burger, Bernd Hofmann, Matthias Maier und Karl Roth, Karlsruhe

## Vorhaben und amtliche Vorgaben

Die Stadtwerke Karlsruhe GmbH plant zur Sicherung der Trinkwasserversorgung der Stadt Karlsruhe und der mitversorgten Umlandgemeinden den Bau eines neuen Wasserwerkes in der Altaue des Rheins bei Karlsruhe. Die Vorschriften zur wasserrechtlichen Genehmigung der Grundwasserentnahme in dem ökologisch sensiblen Natura 2000-Gebiet sehen sowohl eine Prüfung der Umweltverträglichkeit (UVP) als auch der Flora-Fauna-Habitat- und Vogelschutz-Verträglichkeit vor (FFH-RL 92/43/EWG; VS-RL 79/409/EWG). Für die Planungssicherheit wurde der zuständigen Fachbehörde im Scoping-Termin zur Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) eine detaillierte Modellierung des Bodenwasserhaushalts für drei Entnahmeszenarien zugesagt. Verbindliche Anforderungen an Wasserrechtsanträge, wann hydrogeologische und bodenkundliche Veränderungen bei Grundwasserentnahmen quantifiziert werden müssen, sind seit Erscheinen des DVGW-Arbeitsblattes W 150 (2008) auf Bundesebene Standard im Beweissicherungsver-

fahren für Grundwasserentnahmen in der kommunalen Wasserversorgung.

Zur Beurteilung der Umweltauswirkungen auf die grundwasserabhängigen Schutzgüter Boden, Pflanzen und Tiere ist die Berechnung der zukünftig zu erwartenden Grundwasserabsenkung alleine allerdings nicht hinreichend aussagekräftig. Gerade in Trockenphasen wird die Wasserversorgung der Pflanzen von weitaus komplexeren Wirkzusammenhängen bestimmt. Dabei spielen beispielsweise Kleinklima, Art und Deckung der Vegetation, pedologische Eigenschaften und die daraus resultierenden Bodenwasserhältnisse in der ungesättigten Zone eine maßgebliche Rolle. Mithin besteht ein erheblicher Bedarf an verlässlichen Planungsgrundlagen, da gerade in Natura 2000-Gebieten die korrekte Abschätzung von Projektwirkungen entscheidend für die Bewertung der Verträglichkeit und damit für die Zulassung eines Vorhabens ist.

Für eine detaillierte Modellierung des Bodenwasserhaushalts lagen im Untersuchungsgebiet beste Voraussetzungen vor: Sowohl ein Digitales Geländemodell (DGM) mit einer Rasterweite von 1 m als auch nach

morphogenetischen Gesichtspunkten regionalisierte Bodendaten aus einer räumlich hoch aufgelösten Kartierung und ein instationäres numerisches Grundwassermodell (Deinlein 2006) standen zur Verfügung. In die Modellierung wurden Tageswerte der Klimatischen Wasserbilanz einbezogen. **Abbildung 1** vermittelt einen Überblick über die Vorgehensweise zur Abschätzung der Auswirkungen einer Grundwasserentnahme auf Bodenwasserhaushalt und Vegetation.

## Modellierung

Die Modellierung der maßgeblichen Prozesse mit der Software SIWA on ArcView® (DHI-Wasy GmbH, Berlin) ermöglicht die eindimensionale modelltechnische Nachbildung des Bodenwasserhaushalts, der realen Verdunstung, der Grundwasserneubildung sowie zahlreicher weiterer Kenngrößen des Bodenwasserhaushalts. Die Berechnung erfolgt auf Tagesbasis für quasihomogene Teilflächen. Einbezogen werden die Einflussgrößen korrigierter Niederschlag, Grasreferenzverdunstung, Interzeptionskapazität, Direktabfluss, Muldenspeicherungskapazität, Infiltration, vertikaler Feuchtestrom bis zum Grundwasser einschließlich

Grundwasserneubildung und kapillarer Aufstieg. Laterale Abflussprozesse bleiben in 1D-Modellierungen unberücksichtigt. Für Modellgebiete mit geringer Reliefenergie lässt sich mit diesem Modell die Menge des pflanzenverfügbaren Bodenwassers ( $W_{pfl}$ ) und dessen Veränderung bei einer Absenkung des Grundwasserspiegels beschreiben.

Die benötigten Eingangsdaten umfassen Geodatenätze zu Verbreitung und Aufbau der Böden, zur Landnutzung, zum Geländegefälle und zum Grundwasserflurabstand. Die Flurabstände können bei Vorhandensein eines instationären Grundwasserströmungsmodells instationär vorgegeben werden. Weiterhin werden Zeitreihen der klimatischen Eingangsdaten Niederschlag sowie potentielle Evapotranspiration für Gras (z.B. FAO-Grasreferenzverdunstung) auf Tagesbasis benötigt.

Bei Verwendung räumlich hoch aufgelöster Geo- und Wetterdaten und anschließender Kalibrierung des Modells können die Sickerwasserraten mit den Sickerwasserspenden gebietsnaher Lysimeter validiert werden. Die gute Passung der beiden Zeitreihen in **Abbildung 2** belegt eine hohe Abbildungsgüte des vorgestellten Modells.

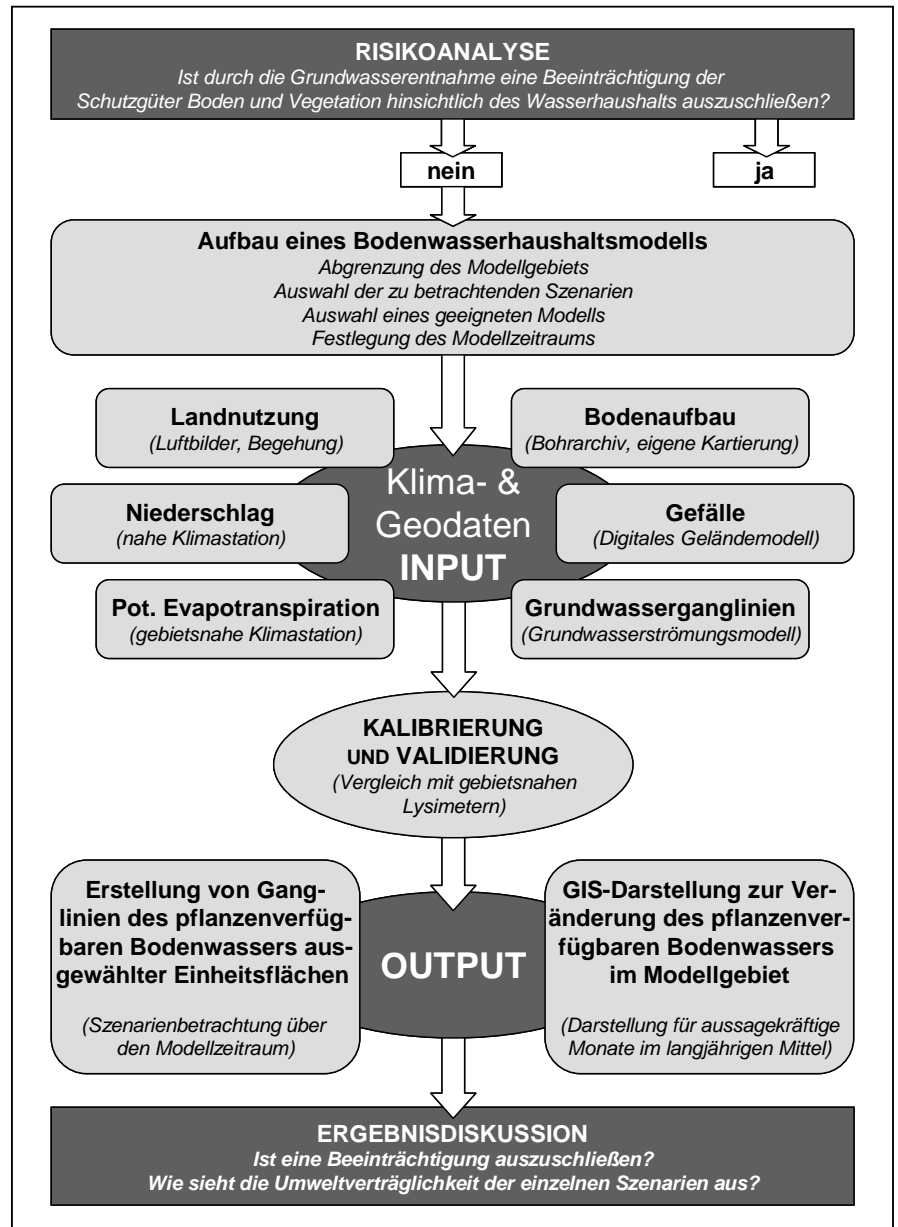


Abb. 1: Ablaufschema einer Modellierung des Bodenwasserhaushalts im Rahmen einer Grundwasserabsenkung (Wirsing et al. 2010b).

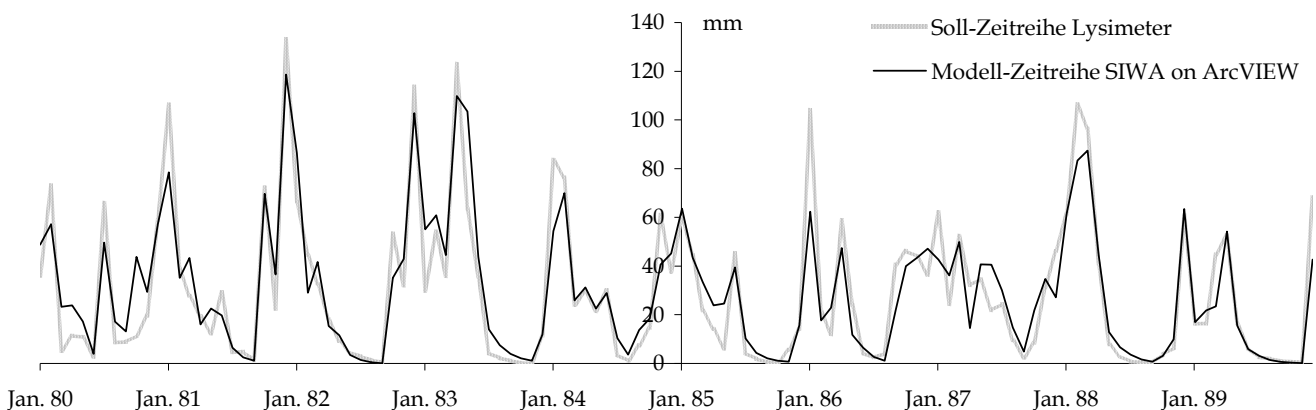


Abb. 2: Zeitreihe der monatlichen Sickerwasserspenden als Mittel dreier gebietsnaher Lysimeter sowie das Mittel der für diese Standorte modellierten Sickerwasserraten.

### Prognosesicherheit

Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung oder -vitalität infolge veränderter Bodenwasserhaushaltsverhältnisse können in der Aue zweierlei Ursachen haben: Sie können durch einen fehlenden, autypischen Ein- bzw. Überstau des Wurzelraums oder aber durch Wassermangel hervorgerufen werden. In einem Vergleich von Modellergebnissen mit Ergebnissen der Vegetationsbeobachtung auf Dauerbeobachtungsflächen konnten augenscheinlich feuchtebedingte Veränderungen der Vegetation in den meisten Fällen auch in den modellierten Ganglinien der Grundwasserstände oder des  $W_{\text{pfl}}$  nachvollzogen werden (Wirsing et al. 2010a). Die Eignung des Modells als Werkzeug zur Quantifizierung von Veränderungen im Bodenwasserhaushalt bei Grundwasserabsenkungen konnte somit mehrfach exemplarisch belegt werden.

Die Frage, welcher Anteil der Veränderungen im Bodenwasserhaushalt durch eine Grundwasserentnahme bedingt wird, lässt sich mit Vegetationsbeobachtungsflächen allein nicht beantworten. Wie in Wirsing et al. (2010a) für ein bestehendes Wasserwerk gezeigt werden konnte, überlagern sich beispielsweise in extrem trockenen Sommern häufig gesteigerte Entnahmeraten des Wasserwerks mit den überregional extrem tiefen Grundwasserständen.

den. Hier bietet ein Bodenwasserhaushaltsmodell bei vorliegenden Variantenrechnungen mit einem Grundwasserströmungsmodell die Möglichkeit, Wirkungsbeziehungen differenziert darzustellen.

### Anwendung in der Planungspraxis am Beispiel des Mittelspechts

Ein Beispiel für eine von der Grundwasserabsenkung mittelbar betroffene Tierart der Rheinwälder ist der Mittelspecht (*Dendrocopos medius*). Diese europaweit gefährdete und geschützte Art (Anhang I der Vogelschutz-Richtlinie) zeigt eine starke Habitatbindung an alte Eichen (*Quercus spec.*) sowie an weitere grobborkige Baumarten (vgl. Weiss 2004). Während die Fachliteratur übereinstimmend eine hinreichende Anpassungsfähigkeit jüngerer Eichenbestände an abgesenkte Grundwasserstände beschreibt (u.a. Raissi et al. 2009), muss für Alteichenbestände (> 80 Jahre) angenommen werden, dass diese nicht mehr in der Lage sind, ihr Wurzelsystem an geänderte Grundwasserhältnisse anzupassen. Somit können Grundwasserabsenkungen zu Wasserstress und unter Umständen zum vorzeitigen Absterben der Habitatbäume führen. Käme es durch diesen Wirkzusammenhang zu einer Schädigung der Mittelspechtpopulation, wäre die Grundwasserabsenkung als unverträgliche und damit

nicht genehmigungsfähige Beeinträchtigung zu bewerten.

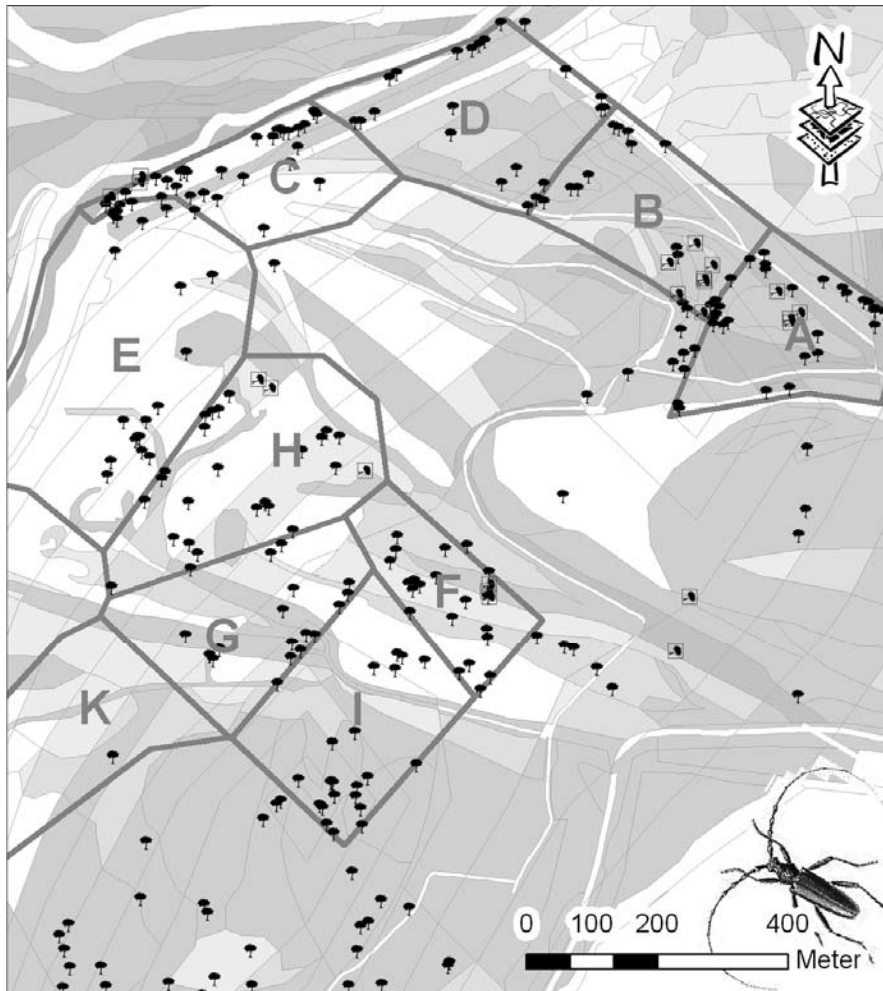
Um den Grad der Beeinträchtigung abzuschätzen und ein Bewertungsmodell zur Gefährdungsabschätzung zu entwickeln, wurden zunächst die Mittelspechtreviere im Wirkraum mit Hilfe von Klangattrappen abgegrenzt sowie das dortige Inventar an Alteichen und sonstigen grobborkigen Altbäumen erfasst. Zum Wasserbedarf von Alteichen wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Der zu erwartende kapillare Aufstieg auf den Eichenstandorten sowie die Veränderungen im Bodenwasserhaushalt wurden mit Hilfe des Bodenwasserhaushaltsmodells bestimmt.

Bezüglich des Wasserbedarfs von Alteichen macht die Fachliteratur wenige und dabei streuende Angaben, die sich schwerpunktmäßig zwischen 300 und 400 mm/Jahr bewegen (Sommerfeld 2009). Als mittlere monatliche Verdunstungswerte in der Vegetationszeit wurden 72 mm für Standorte ohne Grundwasseranschluss angesetzt – auf Standorten mit Kapillaranschluss addiert sich der mittlere monatliche Kapillaraufstieg in der Vegetationszeit des Ist-Zustandes [ $\text{mmKA}_{\text{veg}}$ ] hinzu; in der Summe ergeben sich maximal 120 mm/Monat.

Die potentielle Schädigung einer Alteiche wird über die Prognose des  $W_{\text{pfl}}$  in einem mittleren September (i.d.R. der Monat mit der geringsten

Tab. 1: Mögliche Betroffenheit der acht Mittelspechtreviere im engeren Wirkraum (Variante II).

Revier	Fläche [ha]	Anzahl Eichen	Eichen / ha	Wasserbed. unterschritten	verbleibend	verbl. / ha	natürlicher-weise gef.	Mögliche Betroffenheit
A	6,0	31	5,2	4	27	4,5	0	mittel (13%)
B	5,9	21	3,6	7	14	2,4	1	hoch (33%)
C	5,2	30	5,8	2	28	5,4	3	gering (7%)
D	7,4	21	2,8	0	21	2,8	2	n. sign. (0%)
F	4,1	23	5,6	3	20	4,9	0	mittel (13%)
G	7,0	17	2,4	0	17	2,4	1	n. sign. (0%)
H	9,1	26	2,9	3	23	2,5	14	mittel (12%)
I	7,7	23	3,0	0	23	3,0	0	n. sign. (0%)



### Legende

Alteichen > 80 a

Mögliche Betroffenheit (Variante II)



ja



nein



Revier *Dendrocopos medius*

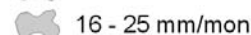
### Kapillarer Aufstieg



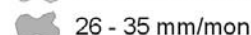
kein



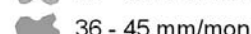
5 - 15 mm/mon



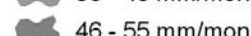
16 - 25 mm/mon



26 - 35 mm/mon



36 - 45 mm/mon



46 - 55 mm/mon



Abb. 3: Mittelspechtreviere, Alteichenbestand und kapillare Aufstiegsrate in Variante II (Erläuterungen im Text).

Restwassermenge im Bodenspeicher) auf Basis des Bodenwasserhaushaltsmodells abgeschätzt. Eine Schädigung kann dann nicht ausgeschlossen werden, wenn der pflanzenverfügbare Septemberwassergehalt den monatlichen Wasserbedarf einer Eiche ( $72 \text{ mm} + \text{mmKA}_{\text{veg}}$ ) unterschreitet (vgl. Spalte „Wasserbed. unterschritten“, **Tab. 1**). Die Anzahl der Alteichen, deren optimale Wasserversorgung im September bereits im Referenzzustand unterschritten wird und auf deren Standorten natürlicherweise kein Kapil-

laraufstieg stattfindet, sind in der Spalte „natürlicherweise gefährdet“ (**Tab. 1**) aufgeführt.

Aus der Literatur ist bekannt, dass in einem Mittelspechtlebensraum mindestens zehn, besser 30 Alteichen pro Hektar aufstocken sollten (Weiss 2004). Die Analyse der Mittelspechtreviere im Untersuchungsraum zeigte jedoch, dass der Eichenbestand weit unter zehn Eichen pro Hektar liegt: In den acht genauer betrachteten Revieren A bis D und F bis I im engeren Wirkraum beträgt die Ei-

chendichte lediglich 2,4 bis 5,8 Eichen pro Hektar (**Tab. 1**). Die dennoch hohe Revierdichte des Mittelspechts ist erklärbar mit der höheren Produktivität des Auwaldstandortes und den teilweisen Ersatz der Eiche durch andere grobborkige Baumarten wie die Esche (*Fraxinus excelsior*).

Die geringen Eichendichten und die hohe Empfindlichkeit der Lebensräume im Untersuchungsgebiet wurden im Bewertungsansatz berücksichtigt und drei niedrigschwellige Beeinträchtigungsklassen für die Betroffenheit der Mittelspechtreviere gebildet (**Tab. 1**):

- Geringe Betroffenheit: < 10% der im jeweiligen Mittelspechtrevier aufstockenden Alteichen werden von der Grundwasserentnahme möglicherweise betroffen.
- Mittlere Betroffenheit: 10 bis 20% der Alteichen werden möglicherweise betroffen.
- Hohe Betroffenheit: > 20% der Alteichen werden möglicherweise betroffen.

**Abbildung 3** überlagert die potentiell geschädigten Alteichen, die Mittelspechtreviere und die kapillaren Aufstiegsraten [ $\text{mmKA}_{\text{veg}}$ ]. Die nutzbare Feldkapazität der Auelehmdecken, die auf Standorten ohne Kapillaranschluss die Wasserversorgung vollständig, auf Standorten mit Kapillaranschluss einen wesentlichen Anteil der Wasserversorgung deckt, ist in der Darstellung nicht enthalten. Als liegend sind jene Alteichen dargestellt, deren Wasserbedarf bei Betrieb des Wasserwerkes bei einem ungünstigen Zusammenspiel von Witterungsverlauf (Trockenjahr) und niedrigen Grundwasserständen möglicherweise nicht gedeckt werden kann. Um die potentielle Schädigung dieser Eichen zu verhindern, können Minderungsmaßnahmen wie etwa die Bewässerung einzelner Alteichen (z.B. Habitatbäume des Heldbocks,

vgl. **Abb. 3** rechts unten) in extremen hydrologischen Trockenzeiten ergriffen werden.

Da die Bewertung des Beeinträchtigungsgrades für den Mittelspecht ausschließlich über die Gefährdung der Alteichen durchgeführt wurde, über den Alteichenbestand aber nicht alle Mittelspechtreviere erklärt werden konnten, bestehen gewisse Wissenslücken in den funktionalen Beziehungen zwischen den Mittelspechtvorkommen und den Habitatausstattungen. Da dem Mittelspecht jedoch offenbar noch weitere grobborkige Habitatbaumarten zur Verfügung stehen, ist die Bewertung als *worst case*-Szenario zu verstehen. Alle verbleibenden Wissenslücken zu schließen, kann die Planungspraxis nicht leisten. Daher soll über ein Monitoringprogramm der für die Bewertung herangezogene Wirkungszusammenhang zwischen Grundwasserabsenkung, Eichenvitalität und Bestandsentwicklung des Mittelspechts kontrolliert werden. Zudem soll im Sinne eines Risikomanagements den Folgen einer möglichen Fehleinschätzung der Prognose begegnet werden. Mögliche Strategien hierzu umfassen die Verlagerung der Wasserentnahme innerhalb der Brunnengalerie in Trockenjahren sowie die Steigerung der Fördermenge über mehrere Vegetationsperioden. Die Umsetzbarkeit derartiger Maßnahmen muss im Einzelfall gesondert untersucht werden.

Ähnliche Habitatbindungen an Alteichen besitzen die beiden nach FFH-RL geschützten Arten Heldbock (*Cerambyx cerdo*) und Hirschkäfer (*Lucanus cervus*), die ebenfalls im Untersuchungsgebiet nachgewiesen und auf Basis des Bodenwasserhaushaltsmodells untersucht wurden.

## Literatur

- Deinlein, W. (2006): Großräumiges, instationäres Grundwassermodell Karlsruhe – Modellaufbau und Kalibrierung für das Einzugsgebiet des geplanten Wasserwerks Kastenwört. Stadtwerke Karlsruhe GmbH.
- DVGW-Arbeitsblatt W 150 (10/2008): Beweissicherung für Grundwasserentnahmen der Wasserversorgung. DVGW-Regelwerk 10/2008. Bonn.
- Raissi, F., Müller, U., Meesenburg, H. (2009): Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe von Forststandorten. NLFb, GeoFakten 9: 1-7.
- Sommerfeld, F. (2009): Rechtliche und naturschutzfachliche Aspekte der Wassergewinnung in NATURA2000-Gebieten am Beispiel des Wasserwerks Kastenwört (Nördliche Oberrheinebene). Diplomarbeit an der Bergakademie Freiberg (TU).
- Weiss, S. (2004): Heimische Spechte und ihr Lebensraum: Unterschiedliche Ansprüche an Wald und Bäume. Falke 51: 68-73.
- Wirsing, T., Schönthal, M. Maier, M., Roth, K. (2010a): Prognosesicherheit eines Bodenwasserhaushaltsmodelles bei Grundwasserabsenkungen: Vergleich von Modellergebnissen mit Ergebnissen der Vegetationsbeobachtung auf Dauerbeobachtungsflächen. AWBR-Jahresbericht 41: 95-110.
- Wirsing, T., Deinlein, W., Hofmann, B., Maier, M., Roth, K. (2010b): Modellierung des Bodenwasserhaushalts als Prognose-Instrument zur praxisnahen Abschätzung der Umweltauswirkung einer Grundwasserabsenkung. gwf Wasser | Abwasser 2/2010: 182-189.



### Tobias Wirsing

Dipl.-Geoökologe  
(Universität Karlsruhe)

Stadtwerke Karlsruhe GmbH  
und Institut für Geographie und  
Geoökologie am KIT

Märchenring 22  
76199 Karlsruhe

tobias.wirsing at kit.edu

www.ifgg.kit.edu

Tobias Wirsing studierte von 2000 bis 2007 Geoökologie in Karlsruhe. Seit 2007 freiberuflich tätig mit Schwerpunkten in Bodenwasserhaushaltsmodellierung, Gefährdungsanalysen für Wasserschutzgebiete und Vogelschutz-Verträglichkeitsprüfungen. Seit 2008 Lehrtätigkeit in Bodenkunde und Geomorphologie am Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG).

### Dr. Guido Waldenmeyer, Prof. Dr. Dieter Burger

Institut für Geographie und  
Geoökologie am KIT

### Dr.-Ing. Bernd Hofmann, Prof. Dr. Matthias Maier, Dr. Karl Roth

Stadtwerke Karlsruhe GmbH