

U. Grünewald, O. Bens, H. Fischer, R.F. Hüttl,  
K. Kaiser, A. Knierim (Hrsg.)

# Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel



Schweizerbart

# Inhalt

<i>Uwe Grünewald, Oliver Bens, Holger Fischer, Reinhard F. Hüttl, Knut Kaiser, Andrea Knierim</i> Vorwort .....	III
--	-----

## **Kapitel 1 Einführung**

<i>Uwe Grünewald</i> Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel in Deutschland – eine Einführung. ....	2
---	---

## **Kapitel 2 Landschaftswandel, globaler Wandel und regionale Anpassung: Perspektiven**

<i>Hans von Storch</i> Globaler Wandel, Klimawandel und regionale Anpassung. ....	14
<i>Gunnar Lischeid</i> Globaler Wandel und Adaptation: Effekte, Wirkungen und Nebenwirkungen auf den Landschaftswasser- und Stoffhaushalt .....	28
<i>Klement Tockner, Jörn Gessner, Martin Pusch, Christian Wolter</i> Domestizierte Ökosysteme und neuartige Lebensgemeinschaften: Herausforderungen für das Gewässermanagement. ....	33

## **Kapitel 3 Landschaftswandel und wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen am Beispiel der Region Lausitz**

<i>Uwe Grünewald</i> Landschaftswandel in der Lausitz: Bergbau(folgen) und Wasser – gestern, heute und morgen .....	44
<i>Rolf Kuhn</i> Landschaftswandel in der Lausitz: IBA Fürst-Pückler Land 2000–2010. ....	54
<i>Andrea Schapp, Jörg Walther, Petra Fleischhammel, Kai Mazur, Detlef Biemelt</i> Ein Ansatz zur Berücksichtigung der Auswirkungen von Klimawandel auf die Bewirtschaftung von Bergbaufolgeseen .....	62
<i>Kathleen Lünich</i> KliWES – Abschätzung der für Sachsen prognostizierten Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten sächsischer Gewässer, Wasserhaushalt – Methodik und erste Ergebnisse .....	73
<i>Anne Gädeke, Ina Pohle, Herwig Hölzel, Hagen Koch, Uwe Grünewald</i> Analyse zum Einfluss des Landschafts- und Klimawandels auf den Wasserhaushalt in einem Teileinzugsgebiet der Spree .....	81

**Kapitel 4 Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen in Regionen und Flusseinzugsgebieten**

*Anne Schulte-Wülwer-Leidig, Hans Moser, Enno Nilson*  
 Stand der Arbeiten zum Klimawandel in der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) ..... 96

*Frank Wechsung*  
 Veränderungen der Stadt-Land-Fluss Beziehung im Klimawandel – Ergebnisse einer Szenarienstudie für das deutsch-tschechische Flussgebiet der Elbe ..... 109

*Christian Korndörfer*  
 Anpassung der Landeshauptstadt Dresden an eine Zukunft mit verändertem Klima und knappen Ressourcen. .... 127

*Ottfried Dietrich, Ute Appel, Marcus Fahle, Gunnar Lischeid, Jörg Steidl*  
 Grundlagen für eine flexible und ressourcenschonende Wasserbewirtschaftung in Niederungsgebieten zur verbesserten Anpassung an den Klimawandel. .... 138

*Knut Kaiser, Jörn Friedrich, Silke Oldorff, Sonja Germer, Rüdiger Mauersberger, Marco Natkhin, Michael Hupfer, Anke Pingel, Jörg Schönfelder, Volker Spicher, Peter Stüve, Franziska Vedder, Oliver Bens, Olaf Mietz, Reinhard F. Hüttl*  
 Aktuelle hydrologische Veränderungen von Seen in Nordostdeutschland: Wasserspiegeltrends, ökologische Konsequenzen, Handlungsmöglichkeiten ..... 148

*Thomas Henschel*  
 Chancen und Risiken wasserbezogener Anpassungsmaßnahmen in Bayern ..... 171

**Kapitel 5 Ansätze und Instrumente zur gesellschaftlichen Steuerung wasserbezogener Anpassungsmaßnahmen**

*Ortwin Renn*  
 Öffentlichkeitsbeteiligung – Aktueller Forschungsstand und Folgerungen für die praktische Umsetzung ..... 184

*Ann Kathrin Buchs*  
 Die Rolle der Ökonomie bei der nachhaltigen Bewirtschaftung von Gewässern – Herausforderungen und Grenzen ..... 194

*Timothy Moss*  
 Regionale Wasserinfrastrukturen und globaler Wandel: Überlagerte Herausforderungen und entkoppelte Diskurse in der Region Berlin-Brandenburg ..... 202

*Andrea Knierim, Sonja Siart*  
 Ansätze und Instrumente zur gesellschaftlichen Steuerung von wasserbezogenen Anpassungsmaßnahmen ..... 210

*Heide Stephani-Pessel, Bettina Geiger, Uta Steinhardt*  
 Von kommunalen Anpassungsmaßnahmen zu einer regionalen Strategie eines adaptiven Wassermanagements. .... 220

*Heidi Kreibich, Florian Elmer, Andreas Gericke, Bruno Merz*  
 Veränderungen des Hochwasserrisikos und Konsequenzen für das Risikomanagement . . . . 228

*Monika von Haaren*

Der Kulturlandschaftsverband – neue Wege zur Anpassung der Kulturlandschaft an den Klimawandel .....	238
---	-----

## **Kapitel 6 Technische, wirtschaftliche und infrastrukturelle Gestaltung des Wandels**

*Rolf Gimbel, Stefan Panglisch*

Zukunftsperspektiven der Wasseraufbereitung unter den Bedingungen des globalen Wandels .....	250
---	-----

*Mike Ramelow, Steven Böttcher, Ralf Dannowski, Christoph Merz, Jörg Steidl,  
Björn Thomas*

Bausteine eines transdisziplinären Konzeptes zur Stabilisierung der Abflussverhältnisse am Fredersdorfer Mühlenfließ .....	258
---	-----

*Julius Jacob, Thorsten Rocksch, Uwe Schmidt*

Innovatives Bewässerungsmanagement für gärtnerische Kulturen – angepasste Tropfbewässerung beim Spargelanbau in der Region Berlin/Brandenburg .....	266
--	-----

*Petra Lasch, Felicitas Suckow, Martin Gutsch, Christopher Reyer*

Waldumbau in Brandenburg: Grundwasserneubildung unter Klimawandel .....	272
---	-----

*Jürgen Müller*

Auswirkungen von waldstrukturellen Veränderungen auf die hydroökologischen Bedingungen in den Beständen im Zuge des Waldumbaus .....	280
---	-----

*Jochen Stemplewski, Michael Becker, Ulrike Raasch*

Ein Wasserwirtschaftsverband im Bundesland Nordrhein-Westfalen passt sich dem Landnutzungs- und Klimawandel an .....	292
---	-----



# Waldumbau in Brandenburg: Grundwasserneubildung unter Klimawandel

Petra Lasch, Felicitas Suckow, Martin Gutsch, Christopher Reyer

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

lasch@pik-potsdam.de

**Zusammenfassung:** Im Folgenden wird untersucht, welche Auswirkungen mögliche Klimaänderungen auf die Grundwasserneubildung unter Waldbeständen mit verschiedenen Baumarten in Brandenburg haben. Die mittels des Waldwachstumsmodells 4C und der Klimaszenarien des Modells STAR II durchgeführten Analysen zeigen, dass sich unter Klimawandel die Versickerung unter Nadelbaumbeständen stärker verringert als unter Laubbaumbeständen. Ein Trend zum Rückgang der Grundwasserneubildung unter den Klimaänderungsszenarios ist für alle Baumarten zu erkennen.

**Schlüsselwörter:** 4C, regionales Klimamodell STAR, Klimaänderung, Laubbaum- und Nadelbaumbestände, Versickerung.

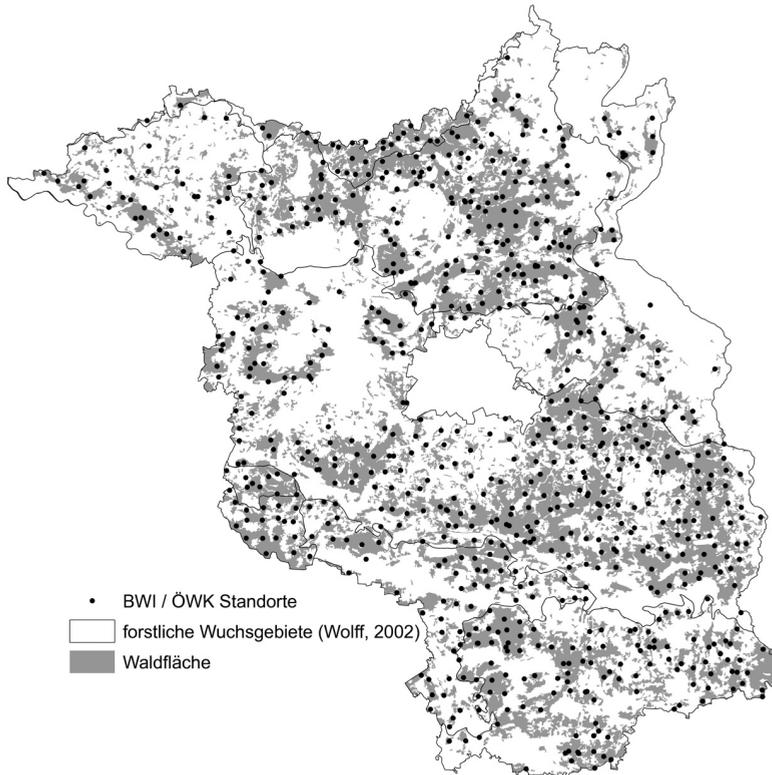
**Abstract:** The impacts of climate change on groundwater recharge below forest stands with different tree species are investigated. The analysis is conducted with the forest growth model 4C driven by climate scenarios of the regional climate model STAR II. The results show lower percolation rates below coniferous stands than below broad-leaved stands. Moreover, there is a strong decline in groundwater recharge for all tree species under the climate change scenarios.

**Keywords:** 4C, regional climate model STAR, climate change, deciduous and coniferous forests, groundwater recharge.

## Einführung

Die Forstwirtschaft in Brandenburg steht vor der Herausforderung, sich im Rahmen des Waldumbauprogramms durch eine geeignete Baumartenwahl auf den zu erwartenden Klimawandel einzustellen. Neben den für die Forstwirtschaft wichtigen Aspekten wie Produktivität und Stabilität der Bestände spielt die Grundwasserneubildung unter Wald im Rahmen des Landschaftswasserhaushalts eine wesentliche Rolle. Brandenburg ist durch ein recht trockenes und kontinental geprägtes Klima gekennzeichnet, verbunden mit einer geringen Grundwasserneubildung (Liedtke 2004). Diese ist vor allem durch niedrige Niederschlagsmengen (557 mm im langjährigen

Mittel für 1961–1990, DWD 2011) bedingt. Im Zeitraum 1881 bis 2010 gingen die Niederschläge in den Sommermonaten um 7,3 % zurück, dagegen nahmen die Winterniederschläge um 20,8 % zu (DWD 2011). Der gleichzeitig beobachtete Temperaturanstieg von ca. 0,9 K und der damit verbundene höhere Transpirationsanspruch führen zum Rückgang der Tiefenversickerung im Sommer. Unter diesem Aspekt wird der Anteil des Niederschlags, der im Winter für die Versickerung zur Verfügung steht, von immer größerer Bedeutung für den Landschaftswasserhaushalt. Untersuchungen zeigen, dass Waldbestände, in denen Laubbaumarten dominieren, eine höhere Versickerung aufweisen als Waldbestände, die von Nadelbaumarten dominiert werden (An-



**Abbildung 1.** Karte der ÖWK-Standorte in Brandenburg.

**Tabelle 1.** Bestandesgrößen der Testbestände, N – Stammzahl, BHD – mittlerer Brusthöhendurchmesser, HO – Oberhöhe, LAI – Blattflächenindex.

Baumart	Alter [Jahre]	N [ha <sup>-1</sup> ]	BHD [cm]	HO [m]	Biomasse [t TM ha <sup>-1</sup> ]	LAI
Buche	35	2782	8,8	14,5	83	1,1
Eiche	35	2032	11,2	16,3	111	0,7
Kiefer	35	2491	12,1	15,9	115	1,2
Douglasie	35	903	18,8	16,9	121	8,0

ders et al. 2005). Die durch den stattfindenden Waldumbau im Brandenburg beeinflussten hydroökologischen Veränderungen sind folglich von großem Interesse. Daher wird in dieser Studie der Frage nachgegangen, welche Auswirkungen eine Spannweite möglicher Klimaänderungen auf die Grundwasserneubildung unter Beständen verschiedener Baumarten auf unterschiedlichen Standorten in den forstlichen Wuchsgebieten Brandenburgs hat.

Dabei wird berücksichtigt, dass die Ausprägung der Klimaänderungen mit großer Unsicherheit behaftet ist. Außerdem werden die für den geplanten Waldumbau in Betracht zu ziehenden Hauptbaumarten Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.), Buche (*Fagus sylvatica* L.), und Eiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* Liebl.) sowie die als Anpassungsoption diskutierte Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) hinsichtlich ihres Beitrags zur

Grundwasserneubildung unter klimatischer Unsicherheit charakterisiert.

## Methode

### Das Modell 4C

Zur Beantwortung der zu untersuchenden Fragen wird das Waldwachstumsmodell 4C genutzt, welches das Wachstum und die Kohlenstoff-, Wasser- und Stickstoffflüsse von Waldbeständen unter sich ändernden Umweltbedingungen beschreibt (Lasch & Suckow 2007). Der aktuelle Transpirationsbedarf des Bestandes, berechnet aus Bestandesstruktur und klimatischen Bedingungen, steuert den Entzug von Bodenwasser durch die Pflanzenwurzeln, deren Tiefenprofil im Modell abgebildet wird. Die anschließende Bilanzierung im Modell 4C erfolgt auf der Basis eines eingebundenen Versickerungsmodells (Suckow et al. 2001, Grote & Suckow 1998), das Aussagen zur Versickerung bzw. Grundwasserneubildung unter Waldbeständen ermöglicht.

Das Modell ist für die forstlich relevanten Baumarten parametrisiert, unter anderem für Waldkiefer, Buche, Eiche und Douglasie.

### Modelldaten

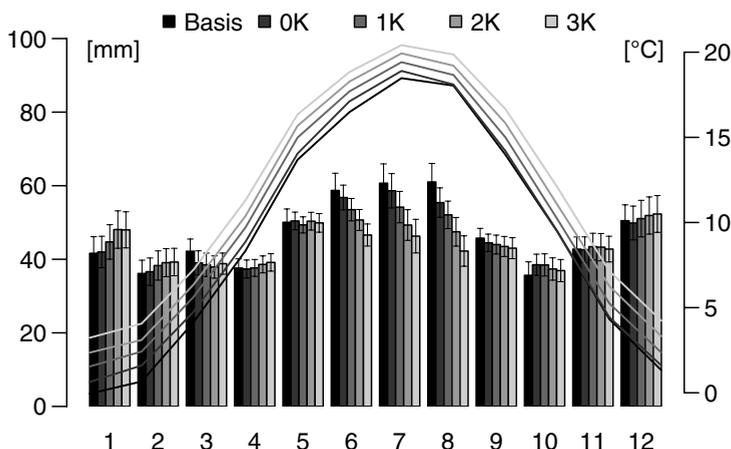
Als Basis für die Modelluntersuchungen werden 775 Flächen der Ökologischen Waldzustandskontrolle (ÖWK) in Brandenburg (siehe Abb. 1) und weitere 483 Flächen in den forstlichen Wuchsgebieten (Wolff 2002), die teilweise in Brandenburg liegen, ausgewählt. Die Koordinaten der Flächen und die zugehörigen Bodeninformationen stehen nach einer Verschneidung mit der Bodenübersichtskarte BÜK 1000 (BGR 1998) zur Verfügung. An jedem Standort wird hypothetisch jeweils ein Reinbestand der Baumart Waldkiefer, Eiche, Buche und Douglasie mit dem Anfangsalter 35 Jahre simuliert, deren Bestandesgrößen aus Ertragstafeln abgeleitet wurden (Tabelle 1). Das Anfangsalter wurde so gewählt, dass heute angelegte Bestände im Szenarienzeitraum 2031–2060 etwa dieses Alter haben werden.

## Klimaszenarien und Klimaunsicherheit

Das Modell 4C benötigt als Triebkräfte meteorologische Größen (Tagesmitteltemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Strahlung) in täglicher Auflösung. Am PIK liegen meteorologische Daten für 2342 meteorologische Stationen in Deutschland von 1951–2006 vor. Jedem ÖWK-Standort kann eine der Stationen zugeordnet werden. Für den Zeitraum 2007–2060 steht am PIK ein Ensemble von Klimaszenarien für die 2342 meteorologischen Stationen zur Verfügung, das mit dem statistischen Regionalmodell STAR II (Orlowsky et al. 2008) erstellt wurde. Die Szenarien weisen eine Temperaturerhöhung von jeweils 0K, 1K, 2K und 3K bis 2060 gegenüber dem Zeitraum 1951–2006 für Deutschland auf. Pro Szenario und Station sind 100 Realisierungen verfügbar, die den gleichen Temperaturtrend haben, sich aber in der Niederschlagsentwicklung unterscheiden. Die Verwendung sowohl mehrerer Temperaturszenarien als auch Niederschlagsszenarien (bzw. Realisierungen) dient einer Abschätzung der Wirkung der mit der Klimaänderung verbundenen Unsicherheit auf die Versickerung bzw. Grundwasserneubildung unter den betrachteten Waldtypen. Diese Unsicherheit betrifft vor allem die Niederschlagsentwicklung. Alle Szenarien sind durch eine Zunahme der Winterniederschläge und eine Abnahme der Niederschläge von Juni bis August charakterisiert (Abb. 2).

## Simulationsexperiment

Das Modell wird an 1258 ÖWK-Standorten für 30 Jahre in der Vergangenheit (1977–2006) und einen Szenarienzeitraum 2031–2060 angewendet. Die Modellrechnungen werden für den Szenarienzeitraum für alle 100 Realisierungen der vier Klimaszenarien durchgeführt, anschließend werden alle Modellergebnisse pro Szenario über den Realisierungen gemittelt. Die sich ergebenden  $504458 (= 4 \cdot 100 \cdot 1258 + 1258)$  Simulationen werden pro Baumart durchgeführt. Für jede Baumart wird ein einfaches Durchforstungskonzept simuliert, das die Entnahme von 15 % der Stämme alle 5 Jahre vorsieht. Für den jeweiligen Simulationszeitraum werden mittlere monatli-



**Abbildung 2.** Langjährige Mittel der monatlichen Werte der Temperatur und Niederschlagssumme (mit Standardabweichung) für den Basiszeitraum (1977–2006) und vier Klimaszenarien (2031–2060).

che und jährliche Versickerungsraten berechnet, die als Maß für die Grundwasserneubildung dienen. Die mittleren monatlichen Versickerungsraten an den ÖWK-Standorten werden für die jeweilige Baumart und die forstlichen Wuchsgebiete (WG) zu mittleren jährlichen Versickerungsraten der WG hochgerechnet. Für die WG werden dann relative Änderungsraten der Versickerung aus den Simulationsergebnissen für 1977–2006 und 2031–2060 berechnet.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Simulationsergebnisse für die vier Baumarten unter dem Gegenwartsklima zeigen deutlich, dass die Grundwasserneubildung unter Kiefer und Douglasie sowohl ganzjährig als auch in der Vegetationsperiode geringer ist als unter Buche und Eiche (Tabelle 2, Abb. 3). Das Verhältnis der Versickerungsraten zwischen Kiefern- und Buchenbeständen wird vom Modell plausibel wiedergegeben (Müller 2009, Natkhin 2010). Ein direkter Vergleich mit gemessenen Versickerungsraten ist nicht möglich, da die simulierten Werte einen Mittelwert über verschiedene Standorte in Brandenburg darstellen, für die beispielsweise die Lysimetermessungen von Müller (2009) nur ein Spe-

zialfall bezüglich der Standortbedingungen sind. Ein entscheidender Unterschied zwischen den simulierten Beständen und den von Müller (2009) untersuchten Beständen des Großlysimeters Britz ist das Alter. Die Bestände in Britz wurden 1974 gepflanzt und waren 1998 sechsundzwanzig Jahre alt. Unter jungen Beständen (Jungwuchs) gibt es anfangs eine relativ hohe Versickerungsrate, die mit zunehmendem Alter (schwaches Stangenholz) abnimmt. Danach steigt die Versickerung mit zunehmendem Alter wieder an (Müller 2009). Müller (2009) misst unter der Douglasie in allen von ihm betrachteten Altersstadien eine höhere Versickerung als unter der Kiefer; die Simulationen mit 4C ergeben jedoch das Gegenteil. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die simulierten Kiefernbestände einen wesentlich geringeren LAI als die Douglasienbestände haben (siehe Tabelle 1). Die dadurch bedingte geringere Interzeption führt zu einer höheren Versickerung. Da bei den Modelluntersuchungen keine Bodenvegetation betrachtet wurde, sind vor allem die simulierten Versickerungsraten der Kiefernbestände höher als von Müller & Bolte (2009) dargestellt. Je nach Bestandesstruktur beträgt die Evapotranspiration der Bodenvegetation zwischen 22 und 40 % des Freilandniederschlags (Müller 2009) und ist insbesondere

**Tabelle 2.** Mittlere jährliche Versickerungsrate für vier Baumarten und den Basiszeitraum (1977–2006) sowie die Klimaszenarien (2031–2060). Der erste Wert des Variationskoeffizienten (VK) ist der VK (berechnet über 100 Realisierungen) über alle Standorte gemittelt. Der zweite Wert ist der VK der Mittelwerte der Versickerungsraten für die 775 Standorte in Brandenburg.

	Kiefer		Douglasie		Buche		Eiche	
	Mittel [mm]	VK [%]	Mittel [mm]	VK [%]	Mittel [mm]	VK [%]	Mittel [mm]	VK [%]
<b>Basis<sup>1</sup></b>	168	–/23	137	–/26	224	–/16	255	–/15
<b>0K</b>	148	18/27	120	22/31	203	13/19	234	12/17
<b>1K</b>	122	22/33	97	27/38	179	15/22	207	14/19
<b>2K</b>	94	25/39	73	31/47	155	16/25	179	15/22
<b>3K</b>	69	29/47	51	39/60	129	19/29	150	17/25

<sup>1</sup>Für den Basiszeitraum ist der erste VK Wert nicht berechenbar und der zweite Wert wurde nur über den Mittelwerten der Versickerungsraten der 775 Standorte berechnet.

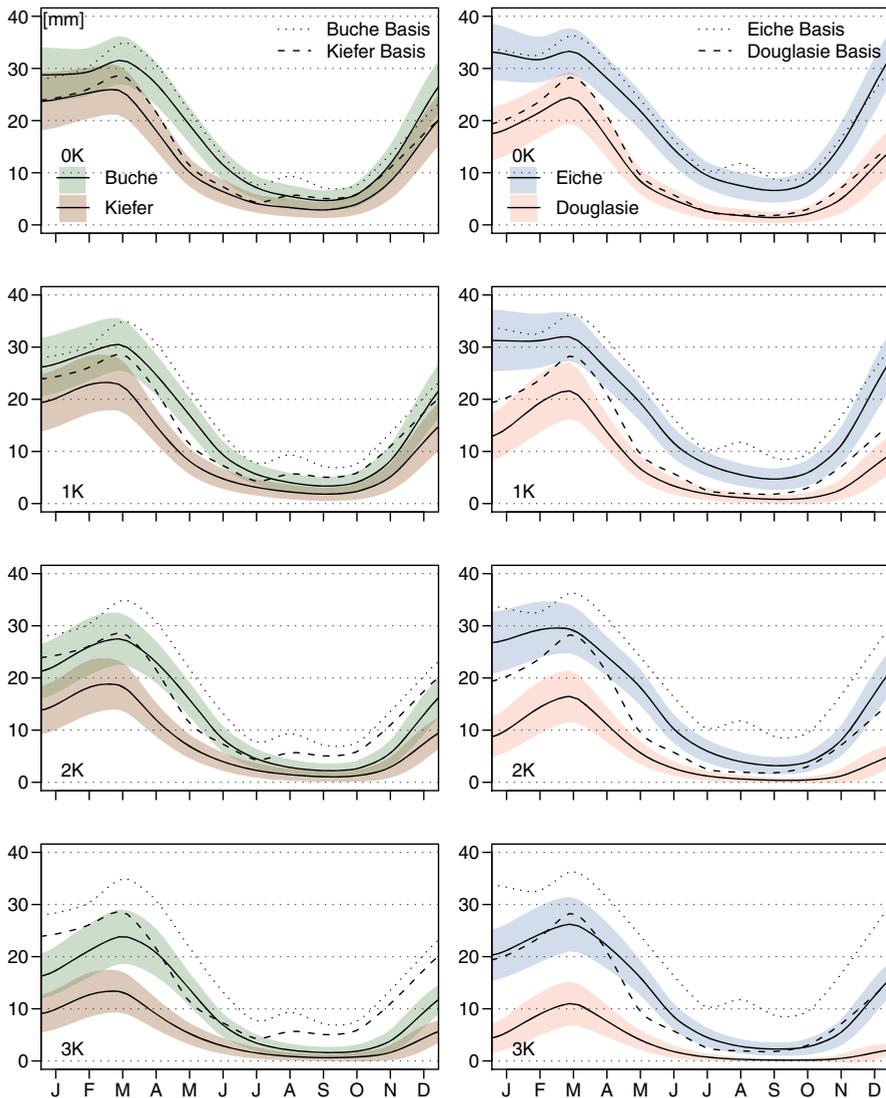
im Fall von Sandrohr (*Calamagrostis epigejos*) in der Vegetationszeit wesentlich höher als für andere Bodenvegetationstypen in einem Kiefernbestand.

Der Vorteil der Laub- gegenüber den Nadelbaumarten wird für alle Klimaszenarien in den Jahressummen der Versickerungsraten deutlich (Tabelle 2). Die Variationskoeffizienten zeigen an, dass die Variation über den Standorten in Brandenburg größer ist als die Variation, die durch die Realisierungen bestimmt ist. Mit zunehmender Erwärmung steigen beide Variationskoeffizienten an (Tabelle 2), was als Zunahme der Unsicherheit der zu erwartenden Versickerungsraten interpretiert werden kann. Die monatlichen Versickerungsraten (Abb. 3) sind im Winter unter den Laubbaumbeständen auf Grund der geringen Interzeption wesentlich höher als unter den Nadelbaumbeständen. In der Vegetationsperiode werden die Versickerungsraten sowohl unter Kiefer und Douglasie als auch unter Buche und Eiche mit zunehmendem Temperaturtrend immer geringer, unter dem 3K-Szenario liegen sie im Mittel aller Realisierungen nur wenige Millimeter auseinander. Auch das Unsicherheitsband, das sich durch die 100 Realisierungen ergibt, wird mit zunehmender Erwärmung in den Monaten Juli, August und September immer schmaler (Abb. 3). Die starken Niederschlagsrückgänge im Sommer, verbunden mit der Temperaturerhöhung verursachen diesen Effekt.

Im Mittel über alle simulierten Standortbedingungen ist ein Trend zum Rückgang der Grundwasserneubildung unter den Klimaszenarien für alle Baumarten zu erkennen (Tabelle 2).

Der prozentuale Rückgang der jährlichen Versickerungsrate variiert für die einzelnen forstlichen WG und ist für alle Baumarten unter dem 3K-Szenario in den nord-westlichen forstlichen WG am geringsten und in den mittleren und südlichen forstlichen WG am stärksten (Abb. 4). Der höchste prozentuale Rückgang ist unter Kiefern- und Douglasienbeständen im WG südwestlich von Berlin (Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland) zu verzeichnen. Dieses Wuchsgebiet liegt im Großklimabereich  $\gamma$  „Südmärkisches Klima“ (Kopp & Schwanecke 1994). Es hat unter dem 3K-Szenario eine negative klimatische Wasserbilanz, die deutlich geringer ist als für die nördlicheren WG die zum Großklimabereich  $\beta$  „Altmärkisches Klima“ gehören. Der Rückgang der klimatischen Wasserbilanz ist eine Folge des moderaten Niederschlagsrückgangs verbunden mit einem starken Temperaturanstieg.

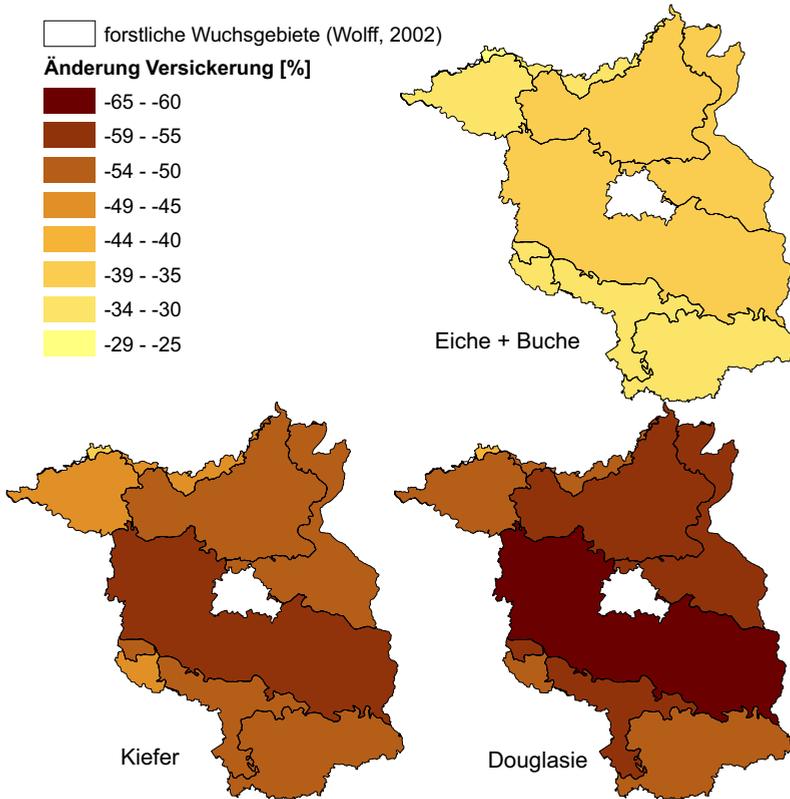
Die Unterschiede im Rückgang der Versickerung unter dem 3K-Szenario zwischen Kiefer und Douglasie sind vor allem auf die wesentlich höheren LAI-Werte der Douglasienbestände zurückzuführen. Unter den Laubbaumbeständen ist ein deutlich geringerer pro-



**Abbildung 3.** Mittlere monatliche Versickerungsraten im Zeitraum 2031–2060 für Buche und Kiefer bzw. Eiche und Douglasie unter dem 0K, 1K, 2K und 3K-Szenario sowie die entsprechenden Raten für das Basisszenario (1977–2006). Die schwarzen, durchgezogenen Linien stellen die mittleren Versickerungsraten dar, die oberen Grenzen der farbigen Bänder entsprechen diesem Mittelwert plus dem über alle Standorte gemittelten VK (berechnet für 100 Realisierungen), die unteren Grenzen der farbigen Bänder entsprechen diesem Mittelwert minus dem VK.

zentualer Rückgang der Versickerungsraten im Vergleich zu den Nadelbaumbeständen in allen forstlichen WG zu verzeichnen. Ebenso ist die räumliche Differenzierung des Versickerungsrückgangs für die Laubbaumarten geringer als

für die Nadelbaumarten. Damit sind die Veränderungen des Wasserhaushalts in Laubbaumbeständen unter den Klimaszenarien wesentlich günstiger zu bewerten als in Nadelbaumbeständen.



**Abbildung 4.** Prozentuale Änderung der mittleren Versickerungsrate unter dem Szenarienzeitraum gegenüber dem Basiszeitraum, berechnet für forstliche Wuchsgebiete und das 3K-Szenario für vier Baumarten.

Bereits unter heutigen Klimabedingungen ergeben sich für Laubbaumbestände deutliche Vorteile für die Grundwasserneubildung (Natkhin 2010). Die experimentellen Untersuchungen von Müller (2012) bestätigen die Aussage, dass eine geeignete Baumartenwahl den Wasserhaushalt positiv beeinflussen kann. Aus den hier dargestellten Modelluntersuchungen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass der Waldumbau von Nadelbaum- zu geeigneten Laubbaumbeständen eine zweckvolle Anpassungsmaßnahme an den projizierten Klimawandel ist. Durch ihn können die zu erwartenden negativen Auswirkungen auf den Landschaftswasserhaushalt durch abnehmende Niederschläge im Sommer und steigende Temperaturen abgeschwächt werden.

## Literatur

- Anders, S., Beck, W., Hornschuch, F., Müller, J., Steiner, A. (2005): Zur Zukunftsfähigkeit des Kiefern-Buchen-Mischbestandes – ökologische Voraussetzungen, forstliche Steuerungsmöglichkeiten, waldwachstumskundliche und umweltrelevante Wirkungen. Ökologischer Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Eberswalde, Band XXIII, 12–21.
- BGR (1998): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:100.000.000 (BÜK 1000). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- DWD (2011): Zahlen und Fakten zur DWD-Presskonferenz am 26.7.2011: Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland. Berlin.

- Grote, R., Suckow, F. (1998): Integrating dynamic morphological properties into forest growth modeling. I. Effects on water balance and gas exchange. *For. Ecol. Manage.* 112, 101–119.
- Kopp, D., Schwanecke, W. (1994): Standortlich-naturräumliche Grundlagen ökologischer Forstwirtschaft. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin GmbH, Berlin.
- Lasch, P., Suckow, F. (2007): Reaktion von Kiefernbeständen unter Klimaänderungen – eine Analyse mit dem Waldwachstumsmodell 4C. Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Eberswalde, Band XXXII, 230–237.
- Liedtke, H. (2004): Relief, Boden und Wasser. Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Elsevier, München.
- Müller, J. (2012): Auswirkungen von waldstrukturellen Veränderungen im Zuge des Waldumbaus auf die hydroökologischen Bedingungen in den Beständen. In: Grünewald, U., Bens, O., Fischer, H., Hüttl, R., Kaiser, K., Knierim, A. (Hrsg.): Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart Verlag, Stuttgart.
- Müller, J. (2009): Forestry and water budget of the lowlands in northeast Germany – consequences for the choice of tree species and for forest management. *J. Water Land Dev.* 13A, 133–148.
- Müller, J., Bolte, A. (2009): The use of lysimeters in forest hydrology research in north-east Germany. *VTI Agriculture and Forest Research* 59 (1), 1–10.
- Natkhin, M. (2010): Modellgestützte Analyse der Einflüsse von Veränderungen der Waldwirtschaft und des Klimas auf den Wasserhaushalt grundwasserabhängiger Landschaftselemente. Dissertation, Universität Potsdam, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Potsdam.
- Orlowsky, B., Gerstengarbe, F. W., Werner, P. C. (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theor. Appl. Climatol.* 92 (3–4), 209–223.
- Suckow, F., Badeck, F.-W., Lasch, P., Schaber, J. (2001): Nutzung von Level-II-Beobachtungen für Test und Anwendungen des Sukzessionsmodells FORESEE. *Beitr. Forstwirtsch. u. Landschaftsökol.* 35 (2), 84–87.
- Wolff, B. (2002): Processing forest inventory data to establish a nationwide database for the estimation of the impacts of climate change on German forest and forestry. *Forstwirtsch. Cbl.* 121, Suppl. 1, 18–27.



## Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel

Der allgegenwärtige Landschafts- und Klimawandel hat vielfältige Auswirkungen auf unsere Umwelt. Wie beeinflussen "wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen" in Regionen und Flusseinzugsgebieten Deutschlands diese Auswirkungen? Antworten und Lösungen werden in diesem Band präsentiert.

Anhand praktischer Beispiele zeigen die Autoren, dass der Klimawandel real ist und wir auf Jahrzehnte hinaus mit diesem Problem konfrontiert sein werden. Weil die Klimaveränderung nicht beherrschbar ist, muss sich die Gesellschaft anpassen. Notwendige Anpassungsmaßnahmen zur Erhaltung der Ressource Wasser erweisen sich als regionale und lokale Herausforderung. Sie erfordern Handeln auf verschiedenen Ebenen: auf lokaler Ebene und im Bereich der Flüsse und Flusseinzugsgebiete; deshalb bedarf es der Abstimmung zwischen Bund, Land und Kommunen.

Die Autoren stellen dar, welche Maßnahmen z.B. in der brandenburgischen Lausitz – durch Braunkohlebergbau wasser- und stoffhaushaltlich nachhaltig beeinträchtigt – umgesetzt werden, und verdeutlichen, dass der Klimawandel weiteren Handlungsbedarf erforderlich macht.

Notwendige und optionale Wassermanagement-Maßnahmen werden am Beispiel des Rheins und der Elbe aufgezeigt und anhand der gegenwärtigen und der künftigen Ziel-Situation – u.a. im „wasserrei-

chen“ Freistaat Bayern und im „wasserarmen“ Nordostdeutschland – umfassend diskutiert.

Die Autoren erörtern ausführlich neue Ansätze und Instrumente zur gesellschaftlichen Steuerung wasserbezogener Anpassungsmaßnahmen, z.B. in Form intensiver Öffentlichkeitsbeteiligung und einer angepassten Infrastruktur der regionalen Wasserversorgung.

Zahlreiche aktuelle Beispiele für die technische, wirtschaftliche und infrastrukturelle Gestaltung dieses Wandels u. a. durch angepasste Verfahren in der Bewässerung, des ökologischen Waldbaus, der Wasseraufbereitung und -versorgung sowie des Hochwasserrisikomanagements vervollständigen die angestellten Überlegungen.

Dieser Band richtet sich an Akteure und Entscheidungsträger in Wissenschaft, Politik, Institutionen, Behörden, Verwaltungen und Verbänden sowie an die interessierte Öffentlichkeit.



DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



berlin-brandenburgische  
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

ISBN 978-3-510-65274-7



9 783510 652747



[www.schweizerbart.de](http://www.schweizerbart.de)