



**Reinhard F. Hüttl, Rolf Emmermann, Sonja Germer, Matthias Naumann, Oliver Bens (Hrsg.)**

---

## **Globaler Wandel und regionale Entwicklung : Anpassungsstrategien in Region Berlin-Brandenburg**

Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011

ISBN: 978-3-642-19477-1

(Forschungsberichte / Interdisziplinäre Arbeitsgruppen, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften ; 26)

Persistent Identifier: urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-23596

---

Die vorliegende Datei wird Ihnen von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften unter einer Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Germany (cc by-nc-sa 3.0) Licence zur Verfügung gestellt.



# Inhalt

|   |    |
|---|----|
| Vorwort .....   | 1  |
| <i>Sonja Germer, Matthias Naumann, Oliver Bens</i><br>Einleitung .....  | 5  |
| <i>Sonja Germer, Matthias Naumann, Oliver Bens</i><br>Zur gegenwärtigen Situation der Fokusregion Berlin-Brandenburg .....            | 15 |
| <b>I. Umweltwandel und die Folgen für den Landschaftswasserhaushalt</b>   |    |
| <i>Sonja Germer, Barbara Köstner, Herbert Sukopp, Jost Heintzenberg</i><br>Einleitung .....   | 27 |
| <i>Ulrich Cubasch, Christopher Kadow</i><br>Temperaturaufzeichnungen in Berlin für die letzten 310 Jahre .....                        | 30 |
| <i>Eberhard Schaller</i><br>Simulation des gegenwärtigen und zukünftigen Regionalklimas<br>von Brandenburg .....                      | 37 |
| <i>Barbara Köstner, Matthias Kuhnert</i><br>Simulation von Wasserhaushaltskomponenten unter dem Wandel<br>des regionalen Klimas ..... | 43 |
| <i>Michael Hupfer, Brigitte Nixdorf, Klement Tockner</i><br>Reaktionen von Seeökosystemen auf Umweltveränderungen .....               | 50 |
| <i>Gunnar Lischeid</i><br>Anthropogene Einflussfaktoren des Landschaftswasserhaushalts .....  | 57 |
| <i>Uwe Grünewald</i><br>Wasserhaushaltliche und wasserwirtschaftliche Bilanzen .....  | 63 |
| <i>Barbara Köstner, Sonja Germer, Jost Heintzenberg</i><br>Kernaussagen .....   | 71 |

## **II. Wandel von Landnutzungen und deren Konsequenzen für Wasserressourcen**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Inge Broer, Alfred Pühler, Mihaiela Rus</i>  |     |
| Einleitung .....  | 83  |
| <i>Konrad Hagedorn</i>  |     |
| Regionale Landwirtschaft im globalen Wandel .....   | 86  |
| <i>Werner Konold</i>  |     |
| Den Rahmen setzen für die Entwicklung der Kulturlandschaften von morgen. Regionale Antworten auf globale Herausforderungen finden ..... | 93  |
| <i>Joachim Quast</i>  |     |
| Strategien zum Integrierten Land- und Wasserressourcenmanagement im märkischen Feuchtgebietsgürtel Oderbruch-Havelland .....            | 102 |
| <i>Katrin Drastig, Annette Prochnow, Reiner Brunsch</i>   |     |
| Wassermanagement in der Landwirtschaft .....  | 111 |
| <i>Ralf Kätzel, Klaus Höppner</i>   |     |
| Anpassungsstrategien für die Waldbewirtschaftung unter den Bedingungen des Klimawandels in Brandenburg .....                            | 117 |
| <i>Hans Kögl</i>  |     |
| Erzeugung und Verbrauch von landwirtschaftlichen Produkten aus Brandenburg in Berlin .....  | 122 |
| <i>Inge Broer, Reiner Brunsch</i>   |     |
| Neue Entwicklungen in der Pflanzenzüchtung und Systembetrachtungen der Pflanze-Umwelt-Interaktion .....                                 | 129 |
| <i>Inge Broer, Alfred Pühler, Mihaiela Rus</i>  |     |
| Kernaussagen .....  | 135 |
| <br>  |     |
| <b>III. Infrastrukturen neu denken: gesellschaftliche Funktionen und Weiterentwicklung</b>  |     |
| <i>Eva Barlösius, Karl-Dieter Keim, Georg Meran, Timothy Moss, Claudia Neu</i>  |     |
| Gegenwärtige Situation der Infrastrukturen .....  | 147 |
| Ausgangspunkt: LandInnovation .....   | 149 |
| Leistungen der Infrastrukturen in der Vergangenheit .....   | 150 |
| Wasser- und Bildungsinfrastrukturen: Gemeinsamkeiten und Unterschiede ..  | 152 |
| Kernaussagen über Infrastrukturen .....   | 155 |

**IV. Handeln unter Bedingungen des globalen Wandels**

*Sonja Germer, Karl-Dieter Keim, Matthias Naumann, Oliver Bens,  
Rolf Emmermann, Reinhard F. Hüttl*

|   |     |
|---|-----|
| Übergeordnete Herausforderungen des globalen Wandels .....  | 175 |
| Brückenprinzipien als Handlungsorientierungen für den Umgang<br>mit dem globalen Wandel .....                                   | 181 |
| Stärkung der interdisziplinären Forschung und des Transfers .....   | 185 |
| <br>  |     |
| Abbildungsverzeichnis .....   | 189 |
| Tabellenverzeichnis .....   | 191 |
| Verzeichnis der Autorinnen und Autoren .....  | 192 |
| Verzeichnis der Mitglieder der interdisziplinären Arbeitsgruppe<br><i>Globaler Wandel – Regionale Entwicklung</i> .....         | 196 |
| Verzeichnis der Diskussionspapiere der interdisziplinären Arbeitsgruppe<br><i>Globaler Wandel – Regionale Entwicklung</i> ..... | 198 |



## Vorwort

Der vorliegende Band präsentiert zentrale Ergebnisse aus der Arbeit der interdisziplinären Arbeitsgruppe (IAG) *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung* der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, die im Januar 2008 nach einer Initiative von R. F. Hüttl und O. Bens für eine Laufzeit von dreieinhalb Jahren eingesetzt wurde. Die Etablierung dieser IAG, die sich mit den Konsequenzen des globalen Wandels für die Region Berlin-Brandenburg und Möglichkeiten der Anpassung befasste, erfolgte im Kontext der Aufgabe der Akademie, Forschung zu bedeutenden Zukunftsfragen mit dem vorrangigen Ziel der Beratung von Politik und Gesellschaft zu ermöglichen.

Unter dem Dach der IAG entstand ein enges Netzwerk sowohl von den IAG-Mitgliedern aus unterschiedlichen Disziplinen als auch von weiteren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in Forschungseinrichtungen der Fokusregion sowie von Institutionen über den engeren Raum hinaus. Die IAG traf sich zwischen Januar 2008 und April 2011 zu zahlreichen Arbeitssitzungen. Die Mitglieder fanden zu drei thematischen Clustern zusammen: *Umweltwandel, Wandel von Landnutzungen und Agrarmärkten, Sozial- und raumstruktureller Wandel*. Diese Cluster führten weitere themenspezifische Arbeitssitzungen durch. Beratende Experten bei diesen Sitzungen waren R. P. Sieferle, Universität St. Gallen; C. Jacobeit, Universität Hamburg; G. F. Schuppert, Wissenschaftszentrum Berlin; B. Merz, Deutsches Geoforschungszentrum; A. Bronstert, Universität Potsdam; H. Welzer, Kulturwissenschaftliches Institut Essen; R. Kreibich, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin; R. Helmig, Universität Stuttgart; E. Swyngedouw, University of Manchester; K. Anders, Büro für Landschaftskommunikation, Bad Freienwalde; E. Rohmann, Ruhr-Universität Bochum; H.-W. Bierhoff, Ruhr-Universität Bochum; K. Drastig, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim; J. Birkmann, Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn; G. Overbeck, Technische Universität München; H. Kögl, Universität Rostock, und U. Grünewald, Brandenburgische Technische Universität Cottbus. Regelmäßige Austauschgespräche erfolgten zudem mit der Projektgruppe *Georesource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel* der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) und mit dem Forschungs- und Technologierat Bioökonomie (BioÖkonomieRat).

Wichtige Impulse resultierten weiterhin aus Workshops mit Akteuren und Entscheidern der allgemeinen Öffentlichkeit sowie mit Forschungseinrichtungen aus der Region Berlin-Brandenburg. Zur Thematik „Wandel der Region Berlin-Bran-

denburg seit der Industrialisierung“ mit den Schwerpunkten Klima und Wasser trugen B. Merz, Deutsches GeoForschungsZentrum; A. Pekdeger, Freie Universität Berlin; G. Nützman, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei; Ch. Bernhardt, Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e. V. Erkner, und M. Barjenbruch, Technische Universität Berlin, bei. Expertisen im Zuge des hierauf folgenden Workshops zur Erarbeitung eines Anforderungskatalogs für Daten, Prognosen und Einschätzungen leisteten D. Schönheinz, Brandenburgische Technische Universität Cottbus; K. Jöhnk, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei; S. Glatzel, Universität Rostock, und N. Schaaf, NABU-Bundesgeschäftsstelle. Ausarbeitungen zum Workshop „Wandel der Märkte für regionale Produkte“ trugen W. Bokelmann, Humboldt-Universität zu Berlin; G. Uckert und M.-H. Ehlers, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. Müncheberg; K. Höppner, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde; K. Klare und A. Tietz, Johann Heinrich von Thünen-Institut – Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, bei. Zu dem Workshop „Regionale Handlungs- und Anpassungsoptionen für Berlin-Brandenburg“ für den Bereich der Landnutzung und des Agrarmarkts empfingen die Mitglieder G. Lischeid und J. Quast, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. Müncheberg; Ch. van Haaren, Leibniz Universität Hannover; B. Müller-Röber, Universität Potsdam; J. Tietze, Universität Rostock, und D. Weiß, HafenCity Universität Hamburg. Das Cluster Infrastrukturen führte vertiefende Expertengespräche zu den Funktionen von Infrastruktur in historischer Perspektive mit D. van Laak, Justus-Liebig-Universität Gießen, zu Dynamiken und Beharrungstendenzen des Infrastrukturbereichs Wasser mit F. Hüesker, Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e. V. Erkner, und zum Infrastrukturbereich Bildung mit H.-E. Tenorth, Humboldt-Universität zu Berlin. In zwei interdisziplinär ausgerichteten Workshops erfolgten Gespräche der Arbeitsgruppe zum „Ländlichen Raum“ mit S. Beetz, Hochschule Mittweida; H. Wiggering, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. Müncheberg, und H. Kilper, Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e. V. Erkner. Zur Thematik „Handeln unter Bedingungen des Nichtwissens“ empfing die Gruppe, gemeinsam mit dem acatech-Projekt „Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel“, A. Schumann, Ruhr-Universität Bochum, und C. Pahl-Wostl, Universität Osnabrück. Gemeinsame Diskussionsbeiträge zur „Robustheit von sozial-ökologischen Systemen“ trugen F. Brand, ETH Zürich, und P. Lauwe, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, bei.

Die Arbeitsgruppe veranstaltete begleitend öffentliche Vortrags- und Diskussionsveranstaltungen. So war im März 2009 im Rahmen der „Besonderen Vorlesung“ der Akademie D. Blackburn, Harvard University, mit dem Vortrag „Landschaft und Umwelt in der Deutschen Geschichte“ Gast der IAG. Im März 2010 lud die Gruppe, gemeinsam mit dem acatech-Projekt „Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel“, zum Vortrag „Wissenschaftlicher Umgang mit Nichtwissen aus ethischer Sicht“ ihres Mitglieds C.F. Gethmann ein. Im April 2010 beteiligte sich die Arbeitsgruppe ferner an der Durchführung des vom acatech-Projekt *Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel* organisierten Symposiums „Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland – Trends, Ursachen, Lösun-

gen“. Im Sommer 2010 präsentierte die Gruppe ihre Arbeit mit vier Beiträgen in der Veranstaltungsreihe „Akademievorlesungen“ einer breiten Öffentlichkeit. Erste Ergebnisse wurden im Rahmen eines Fachgesprächs „Regionale Anpassungen an den globalen Wandel – Handlungsoptionen und Handlungsempfehlungen“ im September 2010 mit Vertretern aus Politik und Praxis diskutiert. In Kooperation mit der Kommission für Interdisziplinäre Ökologische Studien der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und der Kommission für Entwicklungsfragen bei der Österreichischen Austauschdienst GmbH fand im Januar 2011 in Wien die Vortragsveranstaltung „Heiliges Wasser – Hochwasser – Niedrigwasser – Giftwasser“ statt. Schließlich ermöglichte der internationale Workshop „Water Resources under Pressure – Challenges for Central European Regions“ im März 2011 eine Betrachtung der Thematik im europäischen Kontext. Die Arbeitsgruppe dankt ihren Kooperationspartnern und den Experten für die konstruktive Zusammenarbeit.

Diese komplexe Arbeitsorganisation bedurfte vielfältiger Mithilfe. Unser nachdrücklicher Dank für die administrative Unterstützung gilt dem Referat „Interdisziplinäre Arbeitsgruppen“ der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, namentlich Dr. W.-H. Krauth, R. Neumann, R. Reimann und Dr. U. Tintemann.

Über die Grundförderung durch die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften hinaus erfolgte eine finanzielle Unterstützung durch verschiedene Einrichtungen. Besonders zu danken ist dem Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ für die Beteiligung an den Personalkosten der wissenschaftlichen Mitarbeiter/-innen sowie der Kommission für Internationale Beziehungen der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften für die Förderung der internationalen Symposien.

Die Herausgeber

Berlin, im April 2011



# Einleitung

*Sonja Germer, Matthias Naumann, Oliver Bens*

Gegenwärtige Gesellschaften sind zunehmend mit komplexen Dynamiken und drängenden Problemen konfrontiert, die in hohem Maß von globalen Verflechtungen gekennzeichnet sind und als *globaler Wandel* gefasst werden können. Unter globalem Wandel werden Veränderungen weltweiten Ausmaßes, die die Funktionalität des Systems Erde – Mensch beeinflussen, verstanden (Steffen et al. 2005; NKGCF 2008). Der globale Wandel beschreibt das Zusammenwirken physikalischer, biogeochemischer, ökonomischer, sozialer, kultureller, demographischer und politischer Prozesse. Die einander beeinflussenden globalen Veränderungen umfassen Prozesse des Umweltwandels wie die Veränderung des Klimas, die Verschiebung von Klimazonen und von Ausbreitungsgebieten von Lebewesen, den Verlust der Biodiversität und die Verknappung natürlicher Ressourcen, Prozesse des Landnutzungswandels aufgrund konkurrierender Nutzungsansprüche von Siedlungs-, Infrastruktur- oder Agrarflächen, etwa wenn landwirtschaftliche Flächen für den Anbau von Energiepflanzen umgenutzt werden, sowie sozio-ökonomische Prozesse wie die wirtschaftsräumliche Globalisierung und demographische Veränderungen wie Bevölkerungswachstum, Alterung und Migration (Jänicke 2000). Die drastische Verringerung von Transport- und Kommunikationszeiten infolge technologischer Innovationen führt zu einer „räumlich-zeitlichen Verdichtung“, die globale Veränderungen in kurzer Zeit für sehr viele Menschen erfahrbar machen (Harvey 1990, 240). Der Mensch ist dabei gleichermaßen (Mit-)Verursacher und Betroffener, aber auch Gestalter des globalen Wandels.

In diesem Buch werden die von globalen Veränderungen ausgehenden regionalen Auswirkungen betrachtet. Dabei wurde der *Fokus auf die Ressource Wasser und die Region Berlin-Brandenburg* gelegt. Von den regionalen Herausforderungen des globalen Wandels werden Fragen nach möglichen Anpassungsstrategien und Handlungsorientierungen abgeleitet. Anpassungen werden damit nicht als bloße Reaktion auf einen „unvermeidlichen Wandel“ verstanden. Vor dem Hintergrund unsicherer zukünftiger Entwicklungen hinsichtlich der Art und Intensität der Auswirkungen globaler Veränderungen können Anpassungsstrategien immer nur eine Vorbereitung, Flexibilisierung und Öffnung bestehender Systeme für künftige Herausforderungen bedeuten. In diesem Sinne wird hier „angepasst sein“ verstanden als „befähigt sein, rechtzeitig auf Veränderungen zu reagieren“.

Die Auswirkungen und Herausforderungen des globalen Wandels sowie daraus abgeleitete Handlungsorientierungen werden für die drei Bereiche Umweltwandel,

Wandel von Landnutzungen und Agrarmärkten sowie Wandel von Infrastrukturen betrachtet. Ausgangspunkt der Überlegungen ist die Tatsache, dass Wasser eine unverzichtbare Grundlage für jegliches Leben darstellt. Die naturräumliche wie auch gesellschaftliche Entwicklung von Regionen hängt maßgeblich von dem räumlichen und zeitlichen Vorhandensein und der Qualität von Wasser ab. Darüber hinaus sind Wasserressourcen und deren Bewirtschaftung Gegenstand von Konflikten. Dies betrifft beispielsweise Fragen der Wasserbewirtschaftung bei grenzüberschreitenden Einzugsgebieten, wenn etwa die landwirtschaftliche Bewässerung im Bereich der Oberlieger die Schifffahrt der Unterlieger beeinträchtigt. Weitere grenzüberschreitende Konflikte resultieren aus der Wasserbelastung mit Schadstoffen oder der Hochwassergefahr, wobei eine gemeinsame Vorsorge wichtig wird. Schließlich lassen sich aufgrund der räumlichen Spezifik von Wasserkreisläufen die regionalen Auswirkungen des globalen Wandels besonders eindrücklich nachvollziehen.

Die Fokusregion Berlin-Brandenburg ist als Beispiel für die Untersuchung der regionalen Auswirkungen des globalen Wandels in besonderer Weise geeignet. Erstens sind in der Region bereits jetzt die Folgen des Klima-, aber auch des demographischen Wandels für Wasserressourcen und deren Bewirtschaftung spürbar. Zweitens ist Berlin-Brandenburg seit 1990 durch einen tiefgreifenden Strukturwandel in Landwirtschaft und Industrie geprägt, der zu neuen Landnutzungen, dem Wegfall altindustrieller Standorte und massiven Verlusten von Arbeitsplätzen führte (Spars 2005). Drittens zeichnet sich die Region durch ein hohes Maß an kleinräumlicher Differenzierung aus. So sind hier Großstädte mit unterschiedlichen Entwicklungstendenzen, wachsende suburbane Räume, schrumpfende Klein- und Mittelstädte sowie von der Entvölkerung bedrohte ländlich-periphere Räume zu finden. Die Fokusregion Berlin-Brandenburg stellt damit eine Art „Laboratorium“ für Entwicklungen dar, die auch andere Regionen in der Bundesrepublik und in Europa betreffen werden.

Der globale Wandel ist eine Veränderung, die sich nicht einheitlich manifestiert. *Globale Veränderungen können sich regional sehr differenziert auswirken.* So wird der globale (Umwelt-)Wandel auch als „global accumulation of localized changes“ bezeichnet (Turner et al. 1990). Während der veränderte globale hydrologische Kreislauf einigen Regionen verstärkte Niederschläge und Hochwasser bringt, führt er in anderen Regionen zu zumindest temporärem Wassermangel. Globale Veränderungen von Agrarmärkten beeinflussen die räumliche Verteilung und Intensität der Landnutzung und damit auch den regionalen Wasserverbrauch. Der wirtschaftliche Strukturwandel kann in bestimmten Regionen einen deutlichen Rückgang im Wasserverbrauch verursachen, während das Bevölkerungswachstum in anderen Räumen zu einer wachsenden Nachfrage nach Wasserver- und -entsorgungsleistungen führt.

Der *Umweltwandel in der Fokusregion* wird hinsichtlich der hydrologischen und klimatischen Veränderungen sowie des veränderten Vorkommens und der räumlichen Ausbreitung von Lebewesen betrachtet. Die regionale Ausprägung des globalen Klimawandels zeigt sich bereits heute in einer Temperaturerhöhung (Umweltbundesamt 2007). Die Prognosen gehen von einer Zunahme der Verdunstung und einer Umverteilung der Niederschläge als weiteren Konsequenzen aus. Es wird

vorhergesagt, dass die sommerlichen Niederschläge geringer werden und eher in Form von Starkregenereignissen fallen, während die winterlichen Niederschläge zunehmen (Umweltbundesamt 2007). Beim Auftreten von Starkregenereignissen ist aufgrund der in Berlin-Brandenburg vorherrschenden sandigen Böden und der bisherigen Landnutzung mit einer erhöhten Bodenerosion zu rechnen. Wegen ihres subkontinental geprägten Klimas ist die Region durch ein geringes Wasserdargebot und eine hohe potenzielle Verdunstung charakterisiert (Grünwald 2010). Daraus ergibt sich schon heute eine negative klimatische Wasserbilanz, die potenzielle Verdunstung ist also größer als die Niederschläge. Neben den klimatischen Auswirkungen des globalen Wandels wirken auch Veränderungen des agrar- und forstwirtschaftlichen Wassermanagements, der Landnutzung, des Braunkohletagebaus und der urbanen Wassernutzung auf den regionalen Wasserhaushalt ein (Germer et al. 2011). Die regionalen Grundwasserstände in Berlin-Brandenburg sinken großflächig (LUA 2009). Dies macht stärker als bislang einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser erforderlich. Dabei ist es schwierig, zu unterscheiden, welche dieser negativen Wasserhaushaltstrends jeweils auf klimatische und nicht-klimatische Ursachen zurückzuführen sind.

*Landnutzungen und Agrarmärkte* stellen entscheidende Faktoren bei der Inanspruchnahme von Wasserressourcen dar. Beide Bereiche erfuhren in den letzten beiden Dekaden eine Vielzahl von Veränderungen. Zum einen sind die Märkte für landwirtschaftliche Produkte im Zuge von Liberalisierungen zunehmend in globalen Wertschöpfungsketten organisiert. Agrarbetriebe befinden sich damit im internationalen Wettbewerb. Zum anderen sind neue flächenintensive Formen der Landnutzung festzustellen. Dies betrifft in der Region Berlin-Brandenburg den steigenden Anteil von Flächen für die Biomasseproduktion, aber auch den ökologischen Landbau, dessen Bedeutung stark zunimmt (Bloch & Bachinger 2010). Die Nachfrage nach regionalen Produkten steigt und erfordert neue Formen des Vertriebs und der Vermarktung in der Landwirtschaft der Region (Kögl 2010). Schließlich sind auch technologische Innovationen in der Pflanzen- und Tierproduktion mit Veränderungen für den Wasserhaushalt verbunden (Drastig et al. 2010).

Die sozio-ökonomische Entwicklung ist, beispielsweise aufgrund des Wasserverbrauchs von Haushalten und Gewerbe, ein weiterer entscheidender Einflussfaktor für die Entwicklung von Wasserressourcen. Der *sozial- und raumstrukturelle Wandel* ist seit den 1980er-Jahren von einer sich intensivierenden Globalisierung von Wirtschaftsverflechtungen, Warenströmen und Dienstleistungen, aber auch von der Internationalisierung politischer Entscheidungsstrukturen und kultureller Fragen geprägt. Innerhalb Europas wird dieser Prozess durch den parallel laufenden Trend der Europäisierung der Wirtschaftsbedingungen sowie die Umstellung planwirtschaftlicher Ökonomien auf marktwirtschaftliche Grundlagen verschärft (Moss & Hüesker 2010). Der wirtschaftliche Strukturwandel führte in Berlin-Brandenburg zu einem massiven Abbau von Arbeitsplätzen in Industrie, Landwirtschaft und öffentlichem Sektor. Damit ging ein Rückgang der Bevölkerungszahlen einher, der aus der Abwanderung junger, gut ausgebildeter Einwohner und aus der gesunkenen Geburtenrate und der Überalterung resultiert. Die demographische Entwicklung in Berlin-Brandenburg ist dabei von erheblichen regionalen Unterschieden geprägt. Erfuhren

die Kommunen im Umland von Berlin nach 1990 ein Bevölkerungswachstum, so sanken im äußeren Entwicklungsraum die Bevölkerungszahlen deutlich (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009). Auch die wirtschaftliche Entwicklung im Land Brandenburg ist von erheblichen regionalen Disparitäten gekennzeichnet. Die ökonomischen Entwicklungskerne im Land Brandenburg befinden sich bis auf wenige Ausnahmen im Umfeld der Metropole Berlin, wogegen Industriestandorte in peripheren Lagen ersatzlos wegfielen (Rosenfeld et al. 2006). Die regionale Differenzierung der sozio-ökonomischen Entwicklung ist mit einem unterschiedlichen Bedarf an Ver- und Entsorgungsleistungen verbunden. Während die Netze und Anlagen der Wasserver- und Abwasserentsorgung für wachsende Gemeinden im Umland von Berlin erweitert werden müssen, sind Infrastrukturen in peripheren Räumen mit massiven Unterauslastungen konfrontiert (Beetz 2007; Barlösius & Neu 2008; Naumann 2009). Ausgehend von den Ergebnissen der interdisziplinären Arbeitsgruppe *LandInnovation* der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Hüttl et al. 2008) werden Infrastrukturen dahingehend bewertet, inwieweit sie in der Lage sind, die Lebensqualität insbesondere in ländlichen Räumen zu erhalten bzw. zu verbessern sowie gesellschaftliche Teilhabe zu gewährleisten (Barlösius et al. 2008).

Für die hier betrachteten Bereiche des globalen Wandels – Umweltwandel, Wandel von Landnutzungen und Agrarmärkten sowie die Auswirkungen des sozial- und raumstrukturellen Wandels auf Infrastrukturen – bestehen neben den spezifischen Herausforderungen der drei Bereiche auch *gemeinsame Herausforderungen*.

Je kleinräumiger die Betrachtungsebene ist, umso sichtbarer werden regionalspezifische Ausprägungen. Die verschiedenen regionalen Auswirkungen bedingen einander oder verlaufen voneinander unabhängig, sie können sich gegenseitig verstärken oder abschwächen. So können temperaturgetriebene Veränderungen des regionalen Wasserhaushaltes einen Einfluss auf die Landnutzung oder auf die Infrastrukturen von Wasserver- und -entsorgung haben. Zugleich gibt es Hinweise, dass neue Formen der Landnutzung aufgrund einer veränderten Energiebilanz das regionale Klima beeinflussen können (Stohlgren et al. 1998). Die Landnutzung kann darüber hinaus den regionalen Wasserhaushalt direkt beeinflussen, da die Verdunstungsintensität von der Landnutzung abhängt (Mey et al. 2008). Die Auswirkungen des globalen Wandels, wie etwa der Klimawandel, der Wandel von Landnutzungen oder der demographische Wandel, treffen dabei auf regional sehr unterschiedliche Bedingungen und tragen ebenfalls zu einer weiteren Ausdifferenzierung der regionalen Entwicklung bei.

Gemeinsam ist den verschiedenen Prozessen, die zum globalen Wandel beitragen, dass sie bisherige räumliche Einheiten und Grenzen überschreiten. In der Folge werden bestehende räumliche Ordnungen vor neue Herausforderungen gestellt. Dabei ist zu beachten, dass die untersuchten Problemfelder nicht nur durch Veränderungen auf *einer* räumlichen Maßstabsebene geprägt werden. Stattdessen ist von einer dynamischen, wechselseitigen Durchdringung und Verstärkung lokaler, regionaler, nationaler und internationaler Prozesse auszugehen, was auch als Phänomen der „Globalisierung“ bzw. des „Re-Scalings“ beschrieben wird (Swyngedouw 1997, 2000). Bestimmte Ebenen der Entscheidungsfindung, wie etwa die Ebene der Europäischen Union, nehmen an Bedeutung zu, wogegen andere Ebenen, wie die des Nationalstaats, tendenziell an Bedeutung verlieren. Transnationale Unternehmen und grenz-

überschreitende Wirtschaftsräume finden zunehmend auch in europäischen bzw. internationalen Governancestrukturen ihre Entsprechung. Im Zuge des Bedeutungswandels räumlicher Maßstabebenen wird allgemein ein Bedeutungsgewinn für die Ebene der Region konstatiert (Storper 1997; Scott 2000; Fürst 2003). Zudem führt die Globalisierung nicht zu einer Einebnung räumlicher Unterschiede, sondern vielmehr zu einer Multiplikation von Disparitäten auf unterschiedlichen Ebenen (Keim 2006; Neu 2006; Barlösius & Neu 2008; Brenner 2008).

Die Auswirkungen des globalen Wandels haben nicht nur eine räumliche, sondern auch eine zeitliche Dimension. Phänomene der Ungleichzeitigkeit betreffen die zeitliche Differenz von Ursachen und Folgen des Klimawandels oder von anthropogenen Eingriffen in den Wasserhaushalt. Beispielsweise ist das Wasserdargebot im Winter am größten, die Landwirtschaft hängt jedoch von ausreichend Wasser in den Sommermonaten ab. Die Nachfrage nach Agrarprodukten besteht das ganze Jahr über, aber die Produktion beschränkt sich auf die Vegetationsperiode. Die Ungleichzeitigkeit lässt sich ebenfalls an der Auslastung von Wasserinfrastrukturen nachvollziehen. Bedingt durch touristische Nutzungen und Wochenendpendler variiert der Wasserverbrauch im Jahres- und Wochenverlauf erheblich. Anpassungen müssen jedoch berücksichtigen, dass Ver- und Entsorgungssysteme auf die Maximallast ausgelegt sind (Naumann 2009).

Prognosen sind stets mit großen Unsicherheiten behaftet. Dies gilt genauso für regionale Klimaprognosen wie auch für Landnutzungen, die ganz wesentlich von lokalen Bedingungen abhängen, die eine Vorhersehbarkeit globaler Trends einschränken. Schließlich verläuft die sozial- und raumstrukturelle Entwicklung der Region kleinräumlich differenziert und hängt stark davon ab, ob es gelingt, neue Nutzungen in peripheren Räumen zu etablieren oder innovative Formen der Infrastrukturversorgung zu entwickeln. Die Entwicklung von angepassten Formen der Wasserbewirtschaftung steht damit vor dem Problem, Unsicherheiten über die künftige Entwicklung mit zu berücksichtigen.

Neben der Betrachtung unterschiedlicher Aspekte globaler Wandlungsprozesse auf verschiedenen Maßstabebenen ist eine interdisziplinäre Herangehensweise erforderlich, um den Herausforderungen des globalen Wandels zu begegnen. Der globale Wandel zeigt nicht nur regional sehr unterschiedliche Auswirkungen, sondern betrifft ein breites Spektrum an Themen und Ressorts.

Allgemein werden zur Bewältigung der Folgen des globalen Klimawandels zwei Strategien verfolgt: Mitigation und Adaption. Mitigation bezieht sich auf die Entschärfung des Wandels, etwa durch die Reduktion oder Kompensation von Treibhausgasemissionen. Es wird angestrebt, die Regulierung von Mitigation insbesondere über den im Kyoto-Protokoll geregelten Emissionshandel mit Treibhausgasen zu realisieren. Adaption orientiert dagegen auf Strategien zur Anpassung an den Wandel, die technische und gesellschaftliche Maßnahmen umfassen kann.

Der vorliegende Band konzentriert sich vor allem auf Handlungsorientierungen für Strategien der Anpassung. Der globale Wandel verstärkt den bereits bestehenden Druck, regionale Nachhaltigkeitsstrategien zu entwickeln, und wirft die Frage auf: „Wie macht man Regionen weniger krisenanfällig?“ (Hahne 2010: 63). Regionen und die dort Handelnden sind zwar globalen Bezügen ausgesetzt, aber keineswegs

hilflose Opfer ohne Möglichkeit, den Folgen des globalen Wandels zu begegnen (Taylor et al. 1995: 9).

Zur Diskussion dieser Herausforderungen wurde im Jahr 2008 die sowohl aus Akademiemitgliedern als auch externen Expertinnen und Experten bestehende *interdisziplinäre Arbeitsgruppe (IAG) Globaler Wandel – Regionale Entwicklung der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften* eingerichtet. Der Breite der untersuchten Problemfelder entspricht das Spektrum der Autorinnen und Autoren dieses Bandes: In der interdisziplinären Arbeitsgruppe arbeiteten Fachleute aus den Bereichen Biologie, Philosophie, Soziologie, Forstwissenschaften, Raumplanung, Verfahrenstechnik und Geowissenschaften daran, ein gemeinsames Verständnis und eine gemeinsame Position zu den Auswirkungen des globalen Wandels auf die Region sowie zu den daraus resultierenden Herausforderungen zu entwickeln. Die für dreieinhalb Jahre eingerichtete IAG konnte dabei auf Ergebnissen der vorherigen interdisziplinären Arbeitsgruppe *LandInnovation* aufbauen (Hüttl et al. 2008).

In den vergangenen Jahren bearbeiteten mehrere Forschungsverbünde ebenfalls verschiedene Auswirkungen des globalen Wandels in der Region. Zu nennen sind hier beispielhaft die BMBF-geförderten Projekte im Rahmen des Forschungsprogramms KLIMZUG (Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten) „Innovationsnetzwerk Klimaanpassung in Brandenburg Berlin – INKA-BB“ und „Globaler Wandel des Wasserkreislaufes – GLOWA-Elbe“. Ziel des Netzwerkes INKA-BB ist, die Nachhaltigkeit der Land- und Wassernutzung sowie des Gesundheitsmanagements in der Region unter veränderten Klimabedingungen zu sichern. Das Projekt GLOWA-Elbe untersucht die Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbeinzugsgebiet. Ein Projekt mit deutschlandweitem Fokus ist die Projektgruppe *Geoessource Wasser* der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech). Ziel der Projektgruppe ist die Entwicklung einer Strategie zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Wasserressourcen unter den Bedingungen des globalen Wandels. Die Besonderheit der IAG *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung* an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften liegt im Vergleich zu den vorgenannten Vorhaben in der gemeinsamen Betrachtung von drei Bereichen des globalen Wandels: Umweltwandel, Wandel von Landnutzung und Agrarmärkten sowie Wandel von Infrastrukturen.

Die *Zielgruppe* der IAG *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung* umfasst sowohl „Praktiker“<sup>1</sup>, also Akteure aus Politik, Verwaltung und Verbänden, als auch die „scientific community“ unterschiedlicher Disziplinen. Das Buch versteht sich als Einführung in die regionale Dimension des globalen Wandels und als Beitrag zur Diskussion von Anpassungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der Unsicherheit von Prognosen nicht nur für die Region Berlin-Brandenburg. Damit leistet die interdisziplinäre Arbeitsgruppe einen aktiven Beitrag zur vorausschauenden Beratung von Entscheidungsträgern in Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Verbänden.

---

<sup>1</sup> Zur besseren Lesbarkeit wird auf die parallele Verwendung der weiblichen und männlichen Wortform verzichtet. Es sind stets ausdrücklich beide Wortgruppen, z. B. Praktikerinnen und Praktiker, gemeint.

Der vorliegende Band dokumentiert *zentrale Ergebnisse der Arbeit der IAG*<sup>2</sup> und gliedert sich in vier Abschnitte. Nach einer Einführung zu Thematik und Fokusregion erfolgt im Kapitel „Umweltwandel und die Folgen für den Landschaftswasserhaushalt“ eine Darstellung des Umweltwandels und der damit verbundenen Herausforderungen für Wasserressourcen. In diesem Abschnitt werden der Wandel sowie die Simulation des regionalen Klimas und einzelner Wasserhaushaltskomponenten behandelt und eine Bilanzierung des Wasserhaushaltes dargestellt. Nicht-klimatische Einflüsse auf den Wasserhaushalt und ökologische Auswirkungen eines sich regional ändernden Wasserhaushaltes werden aufgezeigt. Im dritten Kapitel „Wandel von Landnutzungen und deren Konsequenzen für Wasserressourcen“ werden die Folgen des Wandels von Landnutzungen und Agrarmärkten einerseits und veränderte Landnutzungen und Agrarmärkte infolge eines veränderten Wasserhaushaltes andererseits erläutert. Es werden Strategien und Optionen zum integrierten Land- und Wassermanagement vorgeschlagen und neue Entwicklungen in der Pflanzenzüchtung vorgestellt. Außerdem wird die Vermarktung Brandenburger landwirtschaftlicher Produkte in der Hauptstadtregion Berlin thematisiert. Das Kapitel „Infrastrukturen neu denken: gesellschaftliche Funktionen und Weiterentwicklung“ wählt hingegen einen anderen Zugang. Der aus dem globalen Wandel resultierende Anpassungsdruck auf Infrastrukturen wird zum Ausgangspunkt genommen, das bisherige Verständnis von Infrastrukturen und deren Planung zu hinterfragen: Der Wandel von Denkmustern und Regelsystemen am Beispiel von Infrastrukturen stehen im Mittelpunkt der Betrachtung. Dieser Abschnitt geht in methodischer wie konzeptioneller Hinsicht über die anderen Ansätze hinaus. In methodischer Hinsicht wurde ein inter- bzw. transdisziplinäres Vorgehen gewählt, indem Wissensbestände verschiedener Disziplinen genutzt wurden, um eine neue Herangehensweise an das Thema „Infrastrukturen“ zu erarbeiten. Der komplexe und auch umstrittene Gegenstand „Infrastrukturen“ erfordert eine transdisziplinäre Betrachtungsweise, die auch die von den Veränderungen Betroffenen berücksichtigt (Hoffmann-Riem 2005: 9). Es handelt sich bei Kapitel „Infrastrukturen neu denken: gesellschaftliche Funktionen und Weiterentwicklung“ um eine Syntheseleistung, bei der bislang nur disziplinär verfügbares Wissen kombiniert wurde, um neue Erkenntnisse und Perspektiven über Infrastrukturen zu generieren. Darüber hinaus beschränkte sich die Auswahl der behandelten Infrastrukturensektoren nicht auf die Wasserver- und Abwasserentsorgung, sondern auch der Bildungssektor wurde hinzugezogen. Damit ist es möglich – bei allen sektoralen Besonderheiten –, Aussagen mit einem höheren Verallgemeinerungsgrad zu treffen. Konzeptionell ist das Kapitel darauf angelegt, sich von der bisherigen Herangehensweise, *bestehende* Infrastrukturen anzupassen, zu lösen und stattdessen ausgehend von einer funktionalen Analyse von Infrastrukturen im Spiegel ihrer historischen Genese zu einem neuen Verständnis von Infrastrukturen zu gelangen. Infrastrukturen *neu* zu denken bedeutet mithin, Infrastrukturen nicht allein von ihren baulichen oder institutionellen Materialisierungen her zu betrachten, sondern von ihren zu erfüllenden gesellschaftlichen

---

<sup>2</sup> Eine Übersicht über die im Rahmen der IAG *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung* erstellten Expertisen befindet sich im Anhang.

Funktionen. Der Beitrag stellt damit weniger eine Bestandsaufnahme als vielmehr eine Vorausschau dar, die versucht, Orientierungswissen für die Zukunft der Gestaltung von Infrastruktur zu generieren. Eine grundsätzliche Auseinandersetzung über die gesellschaftlich und politisch auszuhandelnden Funktionen von Infrastrukturen kann dabei nicht nur Impulse für die Infrastrukturforschung und -planung liefern, sondern helfen, bestehende technische wie institutionelle Entwicklungspfade zu hinterfragen. Sie liefert darüber hinaus Ansätze für die Bewältigung der regionalen Auswirkungen des globalen Wandels insgesamt.

Am Ende des Bandes werden Schlussfolgerungen zum Handeln unter den Bedingungen des globalen Wandels präsentiert, die aus der gemeinsamen interdisziplinären Betrachtung der gesamten Arbeitsgruppe entstanden. Diese stellen eine Handreichung für die erfolgreiche Auseinandersetzung von Regionen mit den Folgen des globalen Wandels dar.

## Literatur

- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2009): Statistisches Jahrbuch 2009. Potsdam: Amt für Statistik Berlin-Brandenburg.
- Barlösius, E., Beetz, S. & Neu, C. (2008): Das Konzept der Lebensqualität. In: R. F. Hüttl, O. Bens & T. Plieninger (Hrsg.), *Zur Zukunft ländlicher Räume. Entwicklungen und Innovationen in peripheren Regionen Nordostdeutschlands*. Berlin: Akademie-Verlag, 328–335.
- Barlösius, E. & Neu, C. (Hrsg.) (2008): *Peripherisierung – eine neue Form sozialer Ungleichheit?*. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume, Nr. 21. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Beetz, S. (Hrsg.) (2007): *Die Zukunft der Infrastrukturen in ländlichen Räumen*. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume, Nr. 14. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Bloch, R. & Bachinger, J. (2010): *Anpassung an den Klimawandel im Praxistest. Innovationen im Ökologischen Landbau. Forschungsreport*. Die Zeitschrift des Senats der Bundesforschungsinstitute 2, 18–21.
- Brenner, N. (2008): *Tausend Blätter. Bemerkungen zu den Geographien ungleicher räumlicher Entwicklung*. In: M. Wissen, B. Röttger & S. Heeg (Hrsg.), *Politics of Scale. Räume der Globalisierung und Perspektiven emanzipatorischer Politik*. Münster: Westfälisches Dampfboot, 57–84.
- Drastig, K., Prochnow, A. & Brunsch, R. (2010): *Wassermanagement in der Landwirtschaft*. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 3. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Fürst, D. (2003): *Aufwertung der Region als Ebene gesellschaftlicher Selbststeuerung*. In: B. Zibell (Hrsg.), *Zur Zukunft des Raumes. Perspektiven für Stadt – Region – Kultur – Landschaft*. Frankfurt/Main: Peter Lang, 49–69.
- Germer, S., Kaiser, K., Bens, O. & Hüttl, R. F. (2011): *Water balance changes and responses of ecosystems and society in the Berlin-Brandenburg region/Germany – a review*. Die Erde 142 (1/2), im Druck.
- Grünwald, U. (2010): *Wasserbilanzen der Region Berlin-Brandenburg*. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 7. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Hahne, U. (2010): *Globale Krise – Chance für regionale Nachhaltigkeit?* In: U. Hahne (Hrsg.), *Globale Krise – Regionale Nachhaltigkeit. Handlungsoptionen zukunftsorientierter Stadt- und Regionalentwicklung*. Detmold: Rohn, 63–88.

- Harvey, D. (1990): *The Condition of Postmodernity: An Enquiry into the Origins of Cultural Change*. Cambridge: Blackwell.
- Hoffmann-Riem, H. (2005): Interdisziplinäre Zusammenarbeit. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume, Nr. 4. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Hüttl, R. F., Bens, O. & Plieninger, T. (Hrsg.) (2008): *Zur Zukunft ländlicher Räume. Entwicklungen und Innovationen in peripheren Regionen Nordostdeutschlands*. Berlin: Akademie Verlag.
- Jänicke, M. (2000): Profile globaler Umweltveränderungen. In: R. Kreibich & U. E. Simonis (Hrsg.), *Global Change – Globaler Wandel. Ursachenkomplexe und Lösungsansätze*. Berlin: Berlin Verlag, 31–39.
- Keim, K.-D. (2006): Peripherisierung ländlicher Räume. *Aus Politik und Zeitgeschichte* 37, 3–7.
- Kögl, H. (2010): Potenziale der Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten aus Brandenburg in Berlin. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 10. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- LUA (2009): *Umweltdaten Brandenburg – Bericht 2008/2009*. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg (LUA).
- Mey, S., Albert, H., Hildebrand, C. & Pfützner, B. (2008): Modellgestützte Analysen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes im Einzugsgebiet des Moores „Luchsee“. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 52 (6), 310–318.
- Moss, T. & Hüesker, F. (2010): Wasserinfrastrukturen als Gemeinwohlträger zwischen globalem Wandel und regionaler Entwicklung – institutionelle Erwiderungen in Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 4. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Naumann, M. (2009): Neue Disparitäten durch Infrastruktur? Der Wandel der Wasserwirtschaft in ländlich-peripheren Räumen. München: oekom.
- Neu, C. (2006): Territoriale Ungleichheit – eine Erkundung. *Aus Politik und Zeitgeschichte* (37), 8–15.
- NKGCF (2008): *Global Change Research in Germany 2008*. München: Nationales Komitee für Global Change Forschung (NKGCF).
- Rosenfeld, M. T. W., Franz, P. & Heimpold, G. (2006): Wo liegen die ökonomischen Entwicklungskerne Ostdeutschlands? *Informationen zur Raumentwicklung* 9, 495–504.
- Scott, A. J. (2000): *Regions and the World Economy: The Coming Shape of Global Production, Competition, and Political Order*. Oxford: Oxford University Press.
- Spars, G. (2005): Die Brandenburger Regionalentwicklung zwischen Wachstumskernen und Schrumpfungsräumen – Fazit und Ausblick. In: G. Spars (Hrsg.), *Regionalentwicklung Brandenburg: neuere Entwicklungen in Theorie und Praxis*. Berlin: Technische Universität Berlin, 259–279.
- Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P., Jäger, J., Matson, P., Moore III, B., Oldfield, F., Richardson, K., Schellnhuber, H. J., Turner, B. L. I. & Wasson, R. J. (2005): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Stohlgren, T. J., Chase, T. N., Pielke, R. A., Kittel, T. G. F. & Baron, J. S. (1998): Evidence that local land use practices influence regional climate, vegetation, and stream flow patterns in adjacent natural areas. *Global Change Biology* 4 (5), 495–504.
- Storper, M. (1997): *The Regional World. Territorial Development in Global Economy*. New York, London: Guilford.
- Swyngedouw, E. (1997): Neither global nor local: „Glocalization“ and the politics of scale. In: K. R. Cox (Hrsg.), *Spaces of Globalization: Reasserting the Power of the Local*. New York: Guilford Press, 137–166.
- Swyngedouw, E. (2000): Authoritarian governance, power, and the politics of rescaling. *Environment and Planning D – Society & Space* 18 (1), 63–76.
- Taylor, P. J., Watts, M. J. & Johnston, R. J. (1995): Global change at the end of the twentieth century. In: R. J. Johnston, P. J. Taylor & M. J. Watts (Hrsg.), *Geographies of Global Change. Remapping the World in the Late Twentieth Century*. Oxford, Cambridge: Blackwell, 1–10.

- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Meyer, W. B., Dow, K. M., Golding, D., Kasperson, J. X., Mitchell, R. C. & Ratick, S. J. (1990): Two types of global environmental change: Definitional and spatial-scale issues in their human dimensions. *Global Environmental Change* 1 (1), 14–22.
- Umweltbundesamt (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen. Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. Hintergrundpapier „Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen“. Dessau: Umweltbundesamt.

---

Sonja Germer (✉)  
Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften  
germer@bbaw.de

Oliver Bens  
Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)

Matthias Naumann  
Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS), Erkner

# **Zur gegenwärtigen Situation der Fokusregion Berlin-Brandenburg**

*Sonja Germer, Matthias Naumann, Oliver Bens*

Der globale Wandel verläuft räumlich differenziert. Heterogen sind auch die spezifischen Ausgangsbedingungen innerhalb von Regionen, weshalb sich die Auswirkungen des globalen Wandels unterschiedlich ausprägen. Im Folgenden werden die administrative Gliederung der Fokusregion, die aktuelle naturräumliche Ausstattung und Landnutzungen sowie die gegenwärtige raumstrukturelle Situation beschrieben, während Veränderungen eher in den Kapiteln I bis III ausgeführt werden.

## **Administrative Gliederung der Fokusregion**

Die Fokusregion umfasst die Bundesländer Berlin und Brandenburg. Sie ist eingebettet in die Nachbarbundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, den Freistaat Sachsen sowie den Nachbarstaat Polen und hat eine Gesamtfläche von 30.370 km<sup>2</sup>, was 8,4 % der Fläche der Bundesrepublik Deutschland entspricht. Das Bundesland Berlin gliedert sich in zwölf Stadtbezirke, das Land Brandenburg besteht aus vier kreisfreien Städten und vierzehn Landkreisen. Die Landkreise im Umland von Berlin bilden den engeren Verflechtungsraum, die berlinfernen Kreise den äußeren Entwicklungsraum. Die Landkreise und kreisfreien Städte des Landes Brandenburg bilden fünf Planungsregionen, die eine wesentliche Grundlage für die Raumplanung darstellen. Für die Steuerung und Kontrolle der Wasserbewirtschaftung ist in Berlin die Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz verantwortlich. Im Land Brandenburg ist die Oberste Wasserbehörde im Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV), die Obere Wasserbehörde im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV) und die Untere Wasserbehörde bei den Landkreisen bzw. den kreisfreien Städten angesiedelt. Die Kommunen sind für die Wasserver- und Abwasserentsorgung verantwortlich (Moss & Hüesker 2010).

## **Naturräumliche Ausstattung**

Der *geologische Aufbau* des Untergrundes ist die entscheidende natürliche Voraussetzung für die Bereitstellung von Grundwasser in Trinkwasserqualität. Geologisch gehört die Fokusregion Berlin-Brandenburg mit Ausnahme des äußeren

Südens Brandenburgs zum Norddeutsch-Polnischen Becken, das den südlichen Teil eines großen Senkungsraumes bildet. Das Norddeutsch-Polnische Becken ist gekennzeichnet von einem seit dem Paläozoikum über Jahrmillionen anhaltenden Absenkungsprozess, der wiederholt die Ausbildung von ausgedehnten Meeresbecken ermöglichte (Henk 1999; Ziegler 1990). Dies führte zur Ablagerung mächtiger mariner Sedimente inklusive Steinsalzen (Zechstein; Nöldeke & Schwab 1976; Schwab 1988). Das Grundwasser innerhalb dieser marinen Sedimente ist durch Lösung der Salzgesteine stark salzhaltig (Salzwasserstockwerk). Die Schichten darüber sind vom Wechsel von marinen zu kontinentalen Sedimenten geprägt. Besondere Bedeutung für die Gewinnung von Trinkwasser kommt dem Rupelton zu. Diese Tiefseetonabfolge bildet eine wirksame hydraulische Barriere zwischen dem Salzwasserstockwerk und dem darüberliegenden Süßwasserstockwerk. Die kontinentalen Sedimente des Tertiärs, die über dem Rupelton folgen, bestehen aus schluffigen Feinsanden, kiesigen Sanden und eingeschalteten, Braunkohle führenden Schichten. Das Tertiär ist in der Fokusregion weitflächig von quartären Sedimenten überlagert. Infolge des Klimawandels zu Beginn des Quartärs (ab 2,6 Mill. Jahre vor heute) wurden die glazialen Sedimente aus den drei nordischen Kaltzeiten (Elster-, Saale- und Weichselkaltzeit) abwechselnd mit den Sedimenten der Warmzeiten (Holstein- und Eem-Warmzeit) abgelagert. Darüber folgen Mudden, Torfe, Flusssande und Dünensande des Holozäns.

Die *Oberflächenformen* in der Fokusregion lassen sich weitgehend auf glaziale und periglaziale Prozesse der Weichselkaltzeit zurückführen (Liedtke & Marcinek 2002). Die glazialen Prozesse führten dazu, dass sich in der Region meist die typische Abfolge der glazialen Serie ausbilden konnte: Grundmoräne, Endmoräne, Sander und Urstromtal. Die ebene, flachwellige oder kuppige Grundmoräne entstand nach Abschmelzen des Inlandeises aus der ehemaligen Untermoräne (z. B. Uckermärkisches Hügelland). Die Endmoräne kann aus vom Inlandeis herangetragenem Material aufgebaut als auch durch das Zusammenschieben von vor dem Gletscherend abgelagertem Material gebildet sein (z. B. Choriner Endmoränenbogen). Daran schließen sich mit geringem Gefälle die weit ausgedehnten, fast ebenen Sander an (z. B. Schorfheide), die als Aufschüttungen der Inlandeisschmelzwässer entstanden. Da sich das Inlandeis in ansteigendes Gelände aus Lockermaterial aufschob, entwickelten sich parallel zum Inlandeisrand Urstromtäler (z. B. Eberswalder Urstromtal), die als Entwässerungsbahnen des Schmelzwassers dienten.

Entsprechend den glazialen Prozessen lässt sich die Fokusregion in drei Großlandschaften gliedern (Abb. 1):

- Nördlicher Landrücken
- Brandenburgische Urstromtäler und Platten
- Südlicher Landrücken

Der Nördliche (mecklenburgisch-brandenburgische) Landrücken liegt im Jungmoränenland und ist durch seine Endmoränenhöhen und flachwellige bis hügelige Grundmoränenlandschaften sowie eine Vielzahl von Seen gekennzeichnet (z. B. Feldberger und Uckermärkische Seenlandschaft). Die Brandenburgischen Urstromtäler und Platten wurden durch das etappenweise abschmelzende Inlandeis



**Abb. 1.** Die landschaftliche Gliederung Brandenburgs und der Verlauf (1) der Pommerschen, (2) der Frankfurter und (3) der Brandenburger Eisrandlagen sowie (4) der Haupteisrandlage des Warthe-Stadiums der Saale-Eiszeit (verändert nach Stackebrandt & Manhenke 2004, Datenquelle: LBGR)

und eine mehrfache Verlegung der Schmelzwasserbahnen verursacht. Dadurch entstand ein Bild von parallel verlaufenden Urstromtalungen mit dazwischenliegenden Hochflächengürteln sowie Querverbindungen zwischen den Urstromtalungen und Platten (z. B. Nauener Platte, Zauche, Beeskower Platte). Die Urstromtäler bilden heute die ausgedehnten Niederungen in Berlin und Brandenburg mit mächtigen, gut wasserdurchlässigen sandigen Ablagerungen. Der Südliche Landrücken liegt im Altmoränenland und hebt sich als flacher Rücken aus seinem Umland heraus. Hierzu zählen der Fläming und der Lausitzer Grenzwall. Hier liegen die höchsten Erhebungen Brandenburgs: der Heideberg und der Kutscherberg in der Lausitz (je 201 m über NN) und der Hagelberg im Fläming (200 m über NN, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2010c). Der Südliche Landrücken wird an drei Stellen von den Flüssen Elbe, Spree und Neiße durchbrochen.

Die räumliche Differenzierung der *Böden* in der Fokusregion folgt einer Dreigliederung, die wesentlich auf das Alter der Bodenbildung und das Ausgangsmaterial zurückzuführen ist:

- das jüngere Jungmoränengebiet der Uckermark
- das ältere Jungmoränengebiet zwischen Uckermark und Südlichem Landrücken
- das Altmoränengebiet des südlichen Landrückens

Die Grundmoränen und teilweise auch die Endmoränen im jüngeren Jungmoränengebiet bestehen aus Geschiebemergel, kalkfreiem Lehm oder lehmigem Sand. Die Entkalkungstiefen sind relativ gering (0,8–1,5 m, Liedtke & Marcinek 2002). Daraus konnten sich die in der Uckermark dominierenden Parabraunerden aus Geschiebelehm entwickeln, die eine hohe Bodenfruchtbarkeit (Ackerzahl: > 44) mit gutem Nährstoffnachliefervermögen kennzeichnet (LBGR 2001; MLUV & Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg 2005a). Dieses Gebiet ist durch einen hohen Anteil an Binnenentwässerungsgebieten geprägt. Das ältere Jungmoränengebiet weist vor allem Fahlerden mit einer etwas tieferen Entkalkung (1–2 m) und einer vergleichsweise geringeren Bodenfruchtbarkeit (Ackerzahl von ca. 28 bis 44) auf (LBGR 2001; Liedtke & Marcinek 2002; MLUV & Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg 2005b). Im Bereich der Sander dominieren Braunerden und Podsolbraunerden, während im Bereich der Urstromtäler Gleye und Niedermoore anzutreffen sind. Das Altmoränengebiet ist durch periglaziale Vorgänge geprägt, die zu einer mehrere Meter tiefen Entkalkung und Ausspülung von Feinmaterial und der damit verbundenen Nährstoffarmut sowie zur flächenhaften Ausbreitung von Decksanden führten. Hier dominieren Braunerden und Podsole sowie bei Grundwassereinfluss Gleye (LBGR 2001).

Diese Dreiteilung der Bodenverhältnisse führt dazu, dass 34 % der landwirtschaftlichen Fläche Brandenburgs eine geringe Bodenfruchtbarkeit (Ackerzahl < 28) aufweist (Freude 2004). Böden aus sandigen und kiesigen Substraten mit geringer Wasserhaltekapazität nehmen 42,5 % der Landesfläche ein, bindige und anlehmgige Böden mit einer besseren Wasserhaltekapazität 46 % (Kalweit 1998). Wie der Karte zur Bodenübersicht aus dem Hydrologischen Atlas für Deutschland zu entnehmen ist, überwiegen in Brandenburg „Böden der Flusslandschaften und Niederungen“ sowie „Böden der Glaziallandschaften“, während in Berlin hauptsächlich versiegelte Flächen vorherrschen (Grünwald 2010).

Klimatisch sind Brandenburg und Berlin durch charakteristische Übergangsverhältnisse zwischen maritimem und kontinentalem *Klima* geprägt, wobei der Einfluss der Kontinentalität von West nach Ost zunimmt. Während im Westen des Landes ein kühlfeuchtes und wintermildes Küstenklima vorherrscht, ist für den Osten ein winterkaltes und sommertrockenes Festlandsklima charakteristisch. Brandenburg liegt im Bereich gemäßigten kontinentalen Klimas mit Jahresmitteltemperaturen zwischen 7,8 °C und 9,5 °C (LUA 2005). Die Region hat eine niedrige durchschnittliche Niederschlagssumme von 604 mm/a, wobei etwas höhere Niederschläge bis über 650 mm/a nur in den höher gelegenen Gebieten in Südbrandenburg und im Bereich des Nördlichen Landrückens verbreitet sind. Die höchsten Jahresniederschlagssummen treten in der Prignitz und auf der Barnimhochfläche auf. Niedrigere Jahressummen weisen die Niederungen auf. Die Niederschläge nehmen tendenziell von West nach Ost ab. Das Oderbruch im Osten ist mit weniger als 500 mm/a die niederschlagsärmste Region Brandenburgs (Gerstengarbe et al. 2003). Durch seine geringen mittleren Jahresniederschläge und die hohe potenzielle Verdunstung zählt die Fokusregion Berlin-Brandenburg zu den trockensten Gebieten Deutschlands und Europas (Köstner et al. 2007;

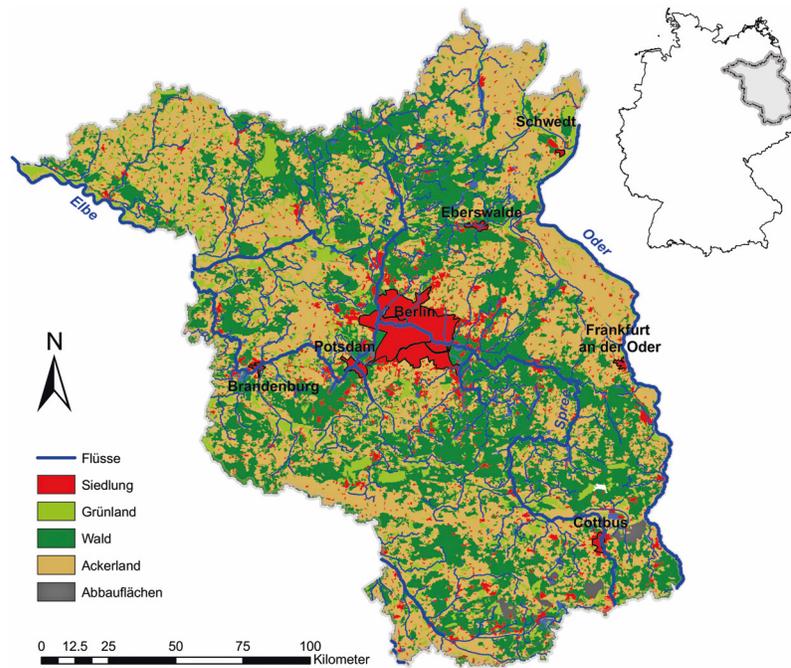
MLUV 2009a). Die hohen Sommertemperaturen in der Region führen zu einer hohen potenziellen Evapotranspiration, die in etwa die Werte des mittleren Jahresniederschlags erreicht (DWD 2009). Vor allem in den Flusseinzugsgebieten der Spree und der Schwarzen Elster sowie im Oderbruch erreicht die potenzielle Verdunstung mit 600 bis 650 mm/a sehr hohe Werte, wobei die tatsächliche Evapotranspiration deutlich darunter liegt, da gerade in trockenen Sommerperioden die Wasserhaltekapazität der leichten Böden schnell ausgeschöpft ist (Grünewald 2010).

Die geologischen, geomorphologischen, pedologischen und klimatischen Naturraumbedingungen begründen die im Folgenden beschriebenen *hydrologischen Verhältnisse* des Oberflächen- und Grundwassers. Mit 10.000 Seen, davon etwa 3.000 größer als ein Hektar, und einer Gesamtlänge der Fließgewässer in Brandenburg von mehr als 33.000 km nehmen die Oberflächengewässer aktuell 2,3 % der Landesoberfläche der Fokusregion ein (MLUV 2007; LUA 2009). Damit gehört die Region zu den gewässerreichsten Naturräumen Deutschlands (Projektgruppe Landschaftswasserhaushalt 2003). Die mittlere Flusssdichte in der Fokusregion ist mit einem Verhältnis (Länge/Fläche) von 0,4 jedoch relativ gering im Vergleich zur Flusssdichte der Gesamtlänge Deutschlands von 0,8, was jedoch durch eine hohe Seedichte ausgeglichen wird (HAD 2003). Besonders hohe Flusssdichten ( $> 2$ ) sind in den Urstromtälern zu finden, was auch auf die anthropogenen Einflüsse in Form von Entwässerungsgräben und -kanälen zurückzuführen ist (s. Kapitel II).

Fließgewässer führen im Gegensatz zum Abfluss über das Grundwasser oder per Verdunstung zu einem schnellen Abfluss von Wasser aus einer Region. Die Höhe des (Oberflächen-)Abflusses ergibt sich aus dem Zusammenwirken von Niederschlag, Verdunstung und Versickerung und wird maßgeblich durch Oberflächengestaltung, Bodeneigenschaften und Landnutzung beeinflusst. Die mittleren jährlichen Abflusshöhen haben eine homogene räumliche Verteilung innerhalb Nordostdeutschlands, sind allerdings mit 50 bis 100 mm/a klein im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands (Grünewald 2010). „Innerhalb der Gebiete geringer Abflusswerte im niederschlagsarmen Nordosten Deutschlands, wo beispielsweise in den Urstromtälern die Grundwasserneubildung im Lockergestein durch die Abflusshöhe begrenzt wird und hier bei flurnahem Grundwasser häufig Grundwasserzehrung auftritt, zeichnen sich urbane Flächen als ‚Inseln‘ hoher Abflusswerte ab“ (HAD 2003, Erläuterungen zur Karte 3.5). In der Fokusregion betrifft Letzteres vor allem die Metropolregion Berlin (Grünewald 2010).

Oberflächengewässer stehen meist in direktem Kontakt mit dem Grundwasser. Grundwasserleiter in der Fokusregion werden aus Sanden und Kiesen aufgebaut, die eine gute Speicherung und Bewegung des Grundwassers ermöglichen. Grundwassergeringleiter bestehen dagegen aus Schluffen, Mudden und Geschiebemergeln und Grundwassernichtleiter aus Tonen. Der Hauptgrundwasserleiter, aus dem der Großteil des Trinkwassers gefördert wird, ist der zweite von vier Grundwasserleitern oberhalb des Rupeltons und innerhalb der glazialen Sedimente (Limberg & Thierbach 2002).

In den Urstromtälern und Niederungen überwiegen geringe Grundwasserflurabstände, in denen sich zum Teil ausgedehnte Niedermoore der sogenannten „Luche“ bildeten. Insgesamt besitzt Brandenburg organische Böden auf einer Fläche von 210.000 ha (7 % der Landesfläche). Die anhaltende Entwässerung bzw. Austrock-

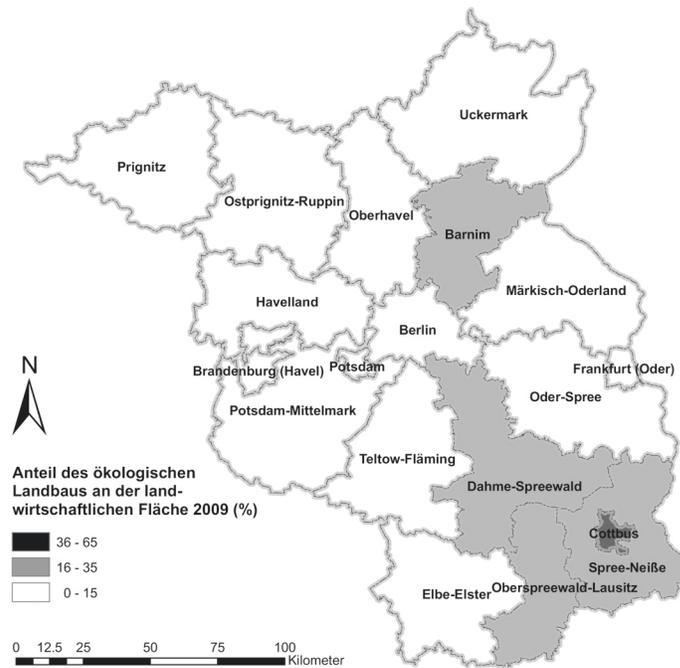


**Abb. 2.** Art der Landnutzungen in Berlin-Brandenburg (Quelle: Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009, Kartographie: Ruth Bittner)

nung dieser Moorstandorte führt durch Torfmineralisation jährlich zu einer Freisetzung von etwa 6,6 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, was über dem Ausstoß des Verkehrs in Brandenburg liegt (LUA 2009).

Die *Landnutzung* in der Fokusregion Berlin-Brandenburg ist stark durch die Landwirtschaft bestimmt, da etwa die Hälfte der gesamten Fläche Brandenburgs agrarisch genutzt wird (s. Abb. 2). Davon sind mehr als drei Viertel Ackerland und ein Viertel Grünland. Die zunehmende Trockenheit stellt die Landwirtschaft in Brandenburg vor erhebliche Probleme (Drastig et al. 2010, Kapitel III). Auf der Hälfte des Ackerlandes wird überwiegend Roggen angebaut, da dieser auf leichten Böden mit regelmäßigen Trockenperioden und Frostgefahr noch gute Erträge liefert. Auf einem Fünftel der Fläche werden Feldfutterpflanzen und auf einem weiteren Fünftel nachwachsende Rohstoffe zur stofflichen und energetischen Verwertung angebaut. Die verbleibenden Ackerflächen werden vor allem für Hülsenfrüchte, Kartoffeln und Zuckerrüben genutzt. Nur knapp 1 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche wird für den Anbau von Obst und Gemüse genutzt (MIL 2010). Mit knapp 11 % Flächenanteil des ökologischen Landbaus nimmt Brandenburg bundesweit einen Spitzenplatz ein (MIL 2010). Besonders hoch ist der Anteil des ökologischen Landbaus im Südosten sowie im Landkreis Barnim (Abb. 3).

Waldflächen nehmen mit ca. 35 % den zweiten Rang bei der Landnutzung in Brandenburg ein. Die Wälder Brandenburgs sind von Kiefernreinbeständen do-



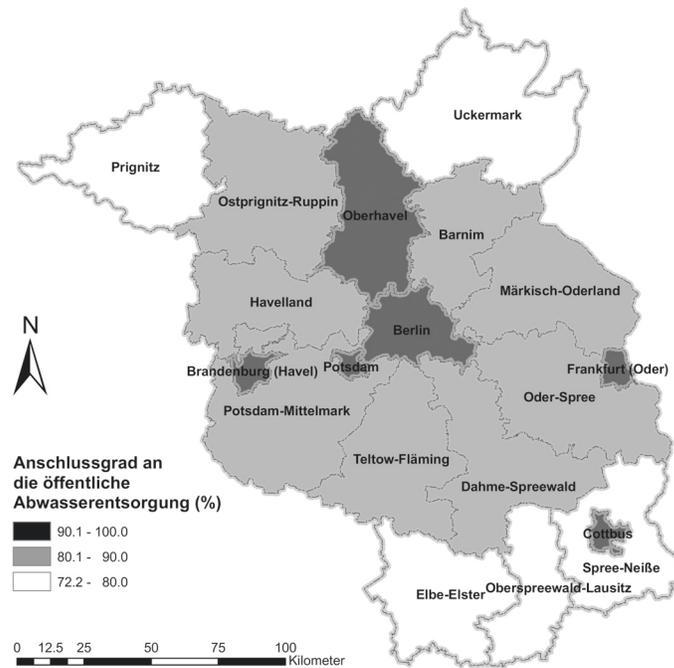
**Abb. 3.** Anteil des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Quelle: Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009, Kartographie: Ruth Bittner)

miniert und sollen im Rahmen des Waldumbauprogramms sukzessive in standortgerechte Kiefern-Buchen- bzw. Kiefern-Traubeneichen-Mischwälder entwickelt werden (Münzenberger et al. 2005; Elmer et al. 2009). Berlin hingegen dominieren Siedlungs- und Verkehrsflächen mit 70 % der Gesamtfläche (Deggau 2006, in Lischeid 2010).

## Raumstrukturelle Gegebenheiten

In der Fokusregion Berlin-Brandenburg leben 5,95 Millionen Menschen, davon 3,44 Millionen in Berlin und 2,51 Millionen in Brandenburg (Stand 2009, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009, 2010b). Die Bevölkerungsdichte reicht von 3.862 Einwohnern pro km<sup>2</sup> in Berlin bis zu 85 Einwohnern pro km<sup>2</sup> durchschnittlich im Land Brandenburg. In peripheren Brandenburger Landkreisen, wie den Landkreisen Ostprignitz-Ruppin, Prignitz und Uckermark liegt die Bevölkerungsdichte noch deutlich unter dem Brandenburger Mittelwert. Die Bevölkerung nahm in der Peripherie des Landes deutlich ab, während die im Umland von Berlin gelegenen Kreise ein Bevölkerungswachstum verzeichnen (Beetz & Neu 2008: 60–62).

Die Fokusregion hatte seit 1990 einen umfassenden Strukturwandel zu bewältigen. In Berlin wie in Brandenburg ging vor allem im landwirtschaftlichen und



**Abb. 4.** Anschlussgrad an die öffentliche Abwasserentsorgung in Brandenburger Landkreisen 2009 (Quelle: MLUV 2009b, Kartographie: Ruth Bittner)

industriellen, aber auch im öffentlichen Sektor ein Großteil der Arbeitsplätze verloren. Die Arbeitslosenquote betrug im Jahresdurchschnitt 2009 in Berlin 16,4 % und in Brandenburg 13,7 % (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2010a). Damit liegen beide Bundesländer deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt von 8,2 % (Bundesagentur für Arbeit 2010). Das Bruttoinlandsprodukt pro Einwohner beider Länder liegt ebenfalls unter dem bundesdeutschen Mittelwert (AG VGR 2010). Regionen wie die Landkreise Uckermark, Prignitz oder Elbe-Elster belegen in bundesweiten Vergleichen hinsichtlich der demographischen, wirtschaftlichen, sozialen und technologischen Entwicklung Plätze am unteren Ende der Rangliste (Prognos AG 2010). Rund 81 % der Erwerbstätigen in Berlin-Brandenburg sind im Dienstleistungsbereich beschäftigt, knapp 17 % sind im produzierenden Gewerbe und weniger als 2 % in der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei tätig (Stand 2009, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2010a).

Die demographische und wirtschaftliche Entwicklung der Region führen zu vielfältigen Disparitäten, die sich auch in der infrastrukturellen Ausstattung widerspiegeln. So ist beispielsweise in den peripheren Landkreisen, bedingt durch die geringe Bevölkerungsdichte, der Anschluss an öffentliche Systeme der Abwasserentsorgung deutlich geringer als in den Städten und den Landkreisen im engeren Verflechtungsraum (Abb. 4). Insgesamt liegt die infrastrukturelle Ausstattung, etwa mit Einrichtungen der medizinischen Versorgung, Sozial- und Pflegediens-

ten, Schulen, Berufsausbildung, Kultur etc. besonders im Nordosten von Brandenburg unterhalb des Landes- und Bundesdurchschnitts (Beetz 2008). Für ländliche Räume mit großer Entfernung zu urbanen Agglomerationen wird als Resultat von demographischer, wirtschaftlicher und infrastruktureller Entwicklung von einer dauerhaften sozial-räumlichen Benachteiligung gesprochen, im Sinne einer „Peripherisierung“, die diese Regionen dauerhaft von positiven Entwicklungsimpulsen abkoppelt (Keim 2006).

## Literatur

- AG VGR (2010): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder. Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den Ländern und Ost-West-Großraumregionen Deutschlands 1991 bis 2009. Stuttgart: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2009): Statistisches Jahrbuch 2009. Brandenburg. Potsdam: Kulturbuch-Verlag.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010a): Basisdaten Erwerbstätigkeit (Onlinepublikation) <http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/home.htm> (01.04.2011). Potsdam: Amt für Statistik Berlin-Brandenburg.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010b): Statistisches Jahrbuch 2010. Berlin. Potsdam: Kulturbuch-Verlag.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010c): Statistisches Jahrbuch 2010. Brandenburg. Potsdam: Kulturbuch-Verlag.
- Beetz, S. (2008): Infrastrukturentwicklung seit 1990. In: R. F. Hüttl, O. Bens & T. Plieninger (Hrsg.), *Zur Zukunft ländlicher Räume. Entwicklungen und Innovationen in peripheren Regionen Nordostdeutschlands*. Berlin: Akademie Verlag, 66–69.
- Beetz, S. & Neu, C. (2008): Ökonomischer und sozialstruktureller Wandel seit 1990. In: R. F. Hüttl, O. Bens & T. Plieninger (Hrsg.), *Zur Zukunft ländlicher Räume. Entwicklungen und Innovationen in peripheren Regionen Nordostdeutschlands*. Berlin: Akademie Verlag, 57–65.
- Bundesagentur für Arbeit (2010): *Der Arbeitsmarkt in Deutschland. Jahresrückblick 2009*. Nürnberg: Bundesagentur für Arbeit.
- Deutscher Wetterdienst (2009): *Klimaatlas Deutschland, Klimakarten für Deutschland, Grasreferenzverdunstung der Jahre 2004-2008*. Offenbach: Deutscher Wetterdienst.
- Drastig, K., Prochnow, A. & Brunsch, R. (2010): *Wassermanagement in der Landwirtschaft. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung*. Diskussionspapier 3. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Elmer, M., Gutsch, M., Bachmann, U., Bens, O., Suckow, F. & Hüttl, R. F. (2009): Der Einfluss des Umbaus von Kiefernreinbeständen in Traubeneichen-Kiefern-Mischwäldern auf Standortqualität und Bestandesklima. *Forst und Holz* 64 (3), 12–17.
- Freude, M. (2004): Anforderungen an die hydrologischen Wissenschaften aus der Praxis. In: A. Bronstert (Hrsg.), *Wasser- und Stofftransport in heterogenen Einzugsgebieten. Beiträge zum Tag der Hydrologie 2004, 22.–23.03.2004 in Potsdam*. Hefef: Hydrologische Wissenschaften – Fachgemeinschaft in der Abwassertechnischen Vereinigung – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
- Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lahmer, W., Lasch, P., Stock, M., Suckow, F., Wechsung, F. & Werner, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK-Report 83. Potsdam: Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Grünewald, U. (2010): *Wasserbilanzen der Region Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung*. Diskussionspapier 7. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.

- HAD (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD). CD-ROM. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Henk, A. (1999): Did the Variscides collapse or were they torn apart? – a quantitative evaluation of the driving forces for post-convergent extension in Central Europe. *Tectonics* 18, 774–792.
- Kalweit, H. (1998): Schöpfung aus Wald und Wasser. Geschichte der Wasserwirtschaft in Brandenburg und Berlin. Stuttgart: Verlag Konrad Wittwer.
- Keim, K.-D. K. (2006): Peripherisierung ländlicher Räume. Aus *Politik und Zeitgeschichte* 37, 3–7.
- Köstner, B., Surke, M. & Bernhofer, C. (2007): Klimadiagnose der Region Berlin / Barnim / Uckermark / Uecker-Randow für den Zeitraum 1951 bis 2006. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume, Nr. 18. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- LBGR (Hrsg.) (2001): Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg 1:300.000. Grundkarte Bodengeologie. Kleinmachnow, Potsdam: Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LBGR), Landesvermessungsamt Brandenburg.
- Liedtke, H. & Marcinek, J. (Hrsg.) (2002): Physische Geographie Deutschlands. 3. Auflage. Gotha: Perthes Geographie-Kolleg, Klett.
- Limberg, A. & Thierbach, J. (2002): Hydrostratigraphie in Berlin. Korrelationen mit dem norddeutschen Gliederungsschema. *Brandenburger Geowissenschaftliche Beiträge* 9, 65–68.
- Lischeid, G. (2010): Landschaftswasserhaushalt in der Region Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 2. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- LUA (2005): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Bericht zur Bestandsaufnahme für das Land Brandenburg (C-Bericht). Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg (LUA).
- LUA (2009): Umweltdaten Brandenburg – Bericht 2008/2009. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg (LUA).
- MIL (2010): Agrarbericht 2010 des Landes Brandenburg. Potsdam: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL).
- MLUV (2007): Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Brandenburgs und Berlins 2007–2013. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV).
- MLUV (2009a): Agrarbericht für das Jahr 2008. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV).
- MLUV (2009b): Kommunale Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg. Lagebericht 2009 (Onlinepublikation). <http://www.mil.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2320.de/kawb2009.pdf> (11.03.2011). Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV).
- MLUV & Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg (Hrsg.) (2005a): Parabraunerde. Steckbriefe Brandenburger Böden, Nr. 5.1. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV), Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg.
- MLUV & Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg (Hrsg.) (2005b): Braunerde-Fahlerde. Steckbriefe Brandenburger Böden, Nr. 5.3. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV), Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg.
- Moss, T. & Huesker, F. (2010): Wasserinfrastrukturen als Gemeinwohlträger zwischen globalem Wandel und regionaler Entwicklung – institutionelle Erwierdungen in Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 4. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Münzenberger, B., Bens, O., Schneider, B., Rumberger, M., Rumpelt, A. & Hüttl, R. F. (2005): Vergleichende humus-, wurzel- und mykorrhizaökologische Untersuchungen zum Umbau von Nadelholzbeständen in naturnahe Laubwaldrein- und -mischbestände des nordostdeutschen Tieflands. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 23, 50–66.
- Nöldeke, W. & Schwab, G. (1976): Zur tektonischen Entwicklung des Tafeldeckgebirges der Norddeutsch-Polnischen Senke unter besonderer Berücksichtigung des Nordteils der DDR. *Zeitschrift für Angewandte Geologie* 23, 369–379.
- Prognos AG (2010): Zukunftsatlas 2010 – Deutschlands Regionen im Zukunftswettbewerb. Berlin: Prognos AG.

- Projektgruppe Landschaftswasserhaushalt (2003): Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg. Kurzfassung zum Sachstandsbericht mit Konzeption für eine langfristige Strategie zur Bewirtschaftung der knappen Wasserressourcen im Land Brandenburg zum Vorteil der Landnutzer und der Landschaft. Im Auftrag des Ministers für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung. Potsdam: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung (MUGV).
- Schwab, G. (1988): Paläomobilität der Norddeutsch-Polnischen Senke. Unpublished Doctoral Dissertation. Berlin: Akademie der Wissenschaften der DDR.
- Stackebrandt, W. & Manhenke, V. (Hrsg.) (2004): Atlas zur Geologie von Brandenburg. CD-ROM. 3. Auflage als digitale Version. Kleinmachnow: Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg.
- Ziegler, P. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe. Riswijk: Shell International Petroleum Maatschappij.

---

Sonja Germer (✉)  
Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften  
germer@bbaw.de

Oliver Bens  
Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)

Matthias Naumann  
Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS), Erkner



# I. Umweltwandel und die Folgen für den Landschaftswasserhaushalt

## Einleitung

*Sonja Germer, Barbara Köstner, Herbert Sukopp, Jost Heintzenberg*

Der globale Wandel zeigt sich, wie eingangs ausgeführt, regional in unterschiedlicher Ausprägung. Die Faktoren, die den Umweltwandel in der Fokusregion beeinflussen, sind selbst Teil des globalen Wandels. Hierzu zählen Einflussfaktoren des Klimas wie die zunehmende Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre, ein vermehrter Aerosoleintrag aus dem urbanen Gebiet, aber auch die Reduktion von Luftverunreinigungen durch entsprechende Maßnahmen. Einflüsse auf den Wasserhaushalt betreffen Veränderungen des Klimas selbst sowie Landnutzungsänderungen oder ein sich änderndes Wassernutzungsverhalten aufseiten von Landwirtschaft, Privathaushalten und Industrie. Um den Umweltwandel analysieren und bewerten zu können, sind sowohl die Einflussfaktoren als auch die Veränderungen innerhalb der Ökosysteme systematisch zu erheben. Beobachtungssysteme für die regionale und lokale Ausprägung der Umweltveränderungen, die Analyse der Variabilität und Wechselwirkungen der Veränderungen sowie die Beachtung der regionalen Spezifika sind eine wesentliche Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung (NKGCF 2005).

Für die Fokusregion Berlin-Brandenburg reichen Beobachtungen von Umweltveränderungen, insbesondere beim Wasserhaushalt und den vom Wasser geprägten Lebensräumen, sehr weit zurück. So existieren Aufzeichnungen über die Biodiversität von Algen in Brandenburgischen und Berliner Seen seit dem 18. Jahrhundert (Sukopp et al. 2010). Die Vielfalt der Ufervegetation und die Ausdehnung der Röhrichtgürtel sind stark zurückgegangen (am Tegeler See auf 9 % der Uferlinie), sodass wertvolle ökologische Leistungen dieses Ökosystems nicht nur hinsichtlich der Artenvielfalt, sondern auch der Selbstreinigungskraft und Kohlenstoffsenke verloren gingen. Diese Umweltveränderungen gehen überwiegend auf Veränderungen des Landschaftswasserhaushalts zurück. Der Wasserhaushalt in der Fokusregion ist seit Jahrhunderten sowohl durch klimatische Veränderungen als auch durch anthropogene Eingriffe geprägt (Driescher 2003; Lischeid 2010). Natürliche Klimavariationen wie die „Kleine Eiszeit“ zwischen dem 15. und 19. Jahrhundert veränderten die Wasserstände des Grundwassers und der Seen. Seit etwa dem 12. Jahrhundert greift zusätzlich der Mensch durch den Bau von Schifffahrtswegen, die Regulierung von Wasserständen, den Ausbau und die Begradigung von Flussläufen sowie durch Maßnahmen zur Entwässerung grundlegend in das hydrologische Regime dieser Region ein. Als Folge dieser Maßnahmen ist die Mehrzahl aller Fließgewässer in Brandenburg künstlich angelegt. Von den 33.000 km Fließgewässern sind

24.000 km überwiegend künstliche Meliorationsgräben (Freude 2007). Flächenhafte Hydromeliorationen begannen Anfang des 18. Jahrhunderts. Die intensiven Komplexmeliorationen mit tiefen Dränagen, Pumptanlagen und Staubewässerung wurden erst in den 1960er- und 1970er-Jahren initiiert (Pollack 1991). Als Folge eines umfangreichen Ursachenkomplexes von Wasserwirtschaft, Landnutzung und Klima einerseits und von Siedlungsgebieten, Tagebau- und Rieselfelderbewirtschaftung andererseits setzen sich bis heute qualitative und quantitative Veränderungen des Landschaftswasserhaushaltes fort (Germer et al. 2011).

So ergab eine Auswertung des Landesmessnetzes für die Jahre 1976 bis 2005 überwiegend fallende Grundwasserstände in den Grundwasserneubildungsgebieten von meist  $-1$  bis  $-3$  cm/a (LUA 2009). Während der Umweltdatenbericht (LUA 2009) keine Aussage über die statistische Signifikanz beinhaltet, konnten Landgraf und Krone (2002) zeigen, dass bei einer entsprechenden Auswertung für die Jahre 1970 bis 1999 für mehr als die Hälfte der Grundwasserpegel ein signifikant negativer Trend festgestellt werden kann. Gemäß dem Landesumweltamt Brandenburg (LUA 2009) treten die stärksten natürlichen Grundwasserstandsänderungen von  $-6$  bis  $-10$  cm/a in der Nähe von Wasserscheiden auf. Eine entsprechende Übersicht über die prozentuale Veränderung von Seespiegeln in Brandenburg gibt es zurzeit noch nicht. Aufgrund der unverfestigten Sedimente und der weitflächig oberflächennahen Grundwasserspiegel steht eine Vielzahl der Brandenburger Seen in hydrologischer Verbindung mit dem Grundwasser. Für zahlreiche Seen mit oder ohne Grundwasseranbindung konnten negative Trends der Wasserstände nachgewiesen werden (vgl. Germer et al. 2011).

Für die beiden bedeutendsten Flüsse der Fokusregion, Oder und Elbe, deren Einzugsgebiete jedoch nur zu einem geringen Teil in Brandenburg liegen, wurden für die letzten Dekaden nur geringe Veränderungen des Abflusses festgestellt (1976–2005; LUA 2009), die nach Petrow und Merz (2009) zudem nicht signifikant sind. Für kleinere Flüsse mit Einzugsgebiet in Brandenburg ist das negative Trendverhalten deutlicher ausgeprägt – nicht nur in den Gebieten des Braunkohlebergbaus (1976–2005; LUA 2009). Trendanalysen von 81 Abflusspegeln in Brandenburg für den Zeitraum 1980 bis 1999 ergaben für 67 % der Pegel einen signifikanten negativen Trend (Landgraf & Krone 2002).

Auch für das hinsichtlich der Umweltveränderungen so oft in den Vordergrund gestellte Klima wurden bereits Veränderungen in der Fokusregion belegt. Für die letzten Dekaden konnte ein statistisch signifikanter Temperaturanstieg nachgewiesen werden (1961–1998:  $+1$ K; Lahmer & Pfützner 2003). Der jährliche Niederschlag hingegen weist keinen signifikanten Trend auf, auch wenn sich eine innerjährliche Verlagerung der Niederschläge zugunsten höherer Winterniederschläge andeutet (Lahmer & Pfützner 2003), wobei die Sommerniederschläge regional um teils über 40 % abnehmen (Köstner et al. 2010).

Vor diesem Hintergrund haben die Kapitel in diesem Abschnitt das Ziel, Umweltveränderungen der Fokusregion beispielhaft darzustellen und daraus Ansatzpunkte für Forschung und Handeln abzuleiten. Zu diesem Zweck fanden sich Fachleute zusammen, die in den Bereichen „Atmosphäre“, „Biosphäre“ und „Hydrosphäre“ vom globalen bis zum lokalen Maßstab forschen. Sie nutzen Messungen

und Modelle und betrachten Umweltveränderungen mit Blick auf das Klimasystem der Erde, auf Ökosysteme und Organismen sowie menschliche Eingriffe, insbesondere bei der Wasserwirtschaft. Beispielhaft für den bereits nachweisbaren Klimawandel stellen *Ulrich Cubasch* und *Christopher Kadow* eine langzeitige Messreihe der Lufttemperatur Berlins vor. Einen Blick in die Zukunft eröffnet *Eberhard Schaller* in seinem Beitrag, in dem regionale Klimaprojektionen für die Fokusregion und die damit verbundenen Unsicherheiten diskutiert werden. Um zukünftige Auswirkungen des Klimawandels auf ökohydrologische Funktionen abschätzen und Anpassungen entwickeln zu können, müssen räumliche Unterschiede beachtet werden. Dies wird von *Barbara Köstner* und *Matthias Kuhnert* am Beispiel der Verdunstung von Wald und Grasland in der Uckermark aufgezeigt. Seen spielen in der Fokusregion eine herausragende Rolle. Ihre ökologischen und kulturellen Dienstleistungen sind bereits heute von Umweltveränderungen stark betroffen oder gefährdet (*Michael Hupfer, Brigitte Nixdorf, Klement Tockner*). Die Funktionen der terrestrischen und aquatischen Ökosysteme stehen in enger Wechselwirkung mit dem Landschaftswasserhaushalt. Seine aktuelle anthropogene Steuerung durch Landnutzung und Trinkwassergewinnung wird von *Gunnar Lischeid* ausgeführt. Die starke Einflussnahme des Menschen auf den Landschaftswasserhaushalt stellt hohe Erwartungen an die nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Wasser. Dafür sind korrekte Bilanzierungen des Wasserhaushalts grundlegend (*Uwe Grünewald*).

Aus diesen Beispielen von Umweltwandel und seinen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt lassen sich Herausforderungen für Wissenschaft und Ressourcenbewirtschaftung ableiten. Wie diesen begegnet werden kann, wird abschließend in möglichen Ansatzpunkten für Forschung und Handeln zusammengefasst.

# Temperaturaufzeichnungen in Berlin für die letzten 310 Jahre\*

Ulrich Cubasch, Christopher Kadow

## Einleitung

Der Klimawandel in Großstädten ist Gegenstand vieler Studien. Schlünzen et al. (2009) etwa analysieren die Niederschlags- und Temperaturveränderung in der Großstadtregion von Hamburg. Der Bericht des Weltklimarats (Solomon et al. 2007) greift das Thema der Großstädte nicht explizit auf, sagt aber aus, dass auf regionaler Skala der Klimawandel stärker ausgeprägt sein kann als im globalen Mittel. Insgesamt kann man davon ausgehen, dass ein verstärkter Wärmeinsel-Effekt durch das Wachstum der Großstädte zusammen mit der globalen Erwärmung zu deutlich höheren Temperaturen in einer Großstadt führen kann, als es der global gemittelte Temperaturanstieg vermuten lässt.

## Klimabeobachtungen in Berlin

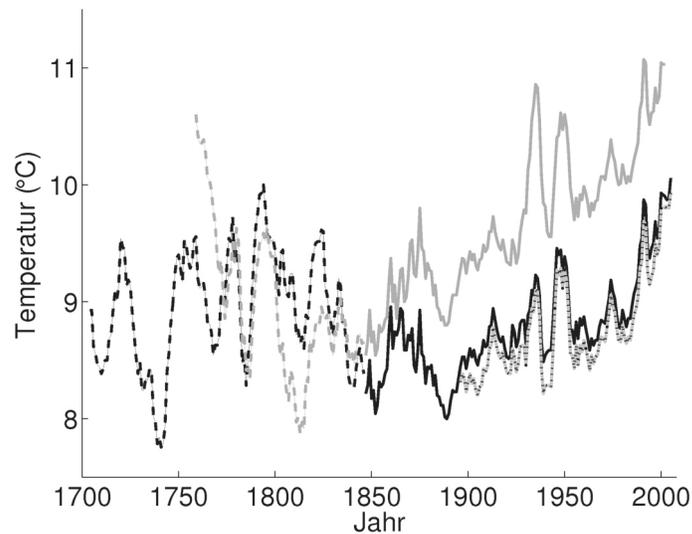
Für Berlin existiert eine der längsten Temperaturaufzeichnungen weltweit. Sie fand als eine von vier historischen Klimaaufzeichnungen ihren Weg in den letzten IPCC-Bericht (Solomon et al. 2007). Die ersten Wetteraufzeichnungen in Berlin begannen schon im Jahr 1677. Seit der Gründung der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften im Jahr 1700 wurden regelmäßige Temperaturmessungen unternommen, zuerst von dem Akademiemitglied und Astronomen Gottfried Kirch und seiner Familie. Diese Messungen waren in wissenschaftlicher Hinsicht mangelhaft: a) Der Messort wurde mehrfach verändert, b) es gibt Lücken in der Messreihe wegen des Ausfalls der Instrumente, und c) die Eichung der Instrumente ist nur unvollständig dokumentiert und nicht konsistent. Die Situation verbesserte sich, als das Königlich Preußische Meteorologische Institut gegründet wurde, das die Verantwortung für die Messungen übernahm.

Derzeit gibt es drei Datensätze für den Berliner Großraum (Abb. 5):

1. Die erste Messreihe des *Berlin & Dahlem*-Temperaturdatensatzes beginnt 1701 und reicht bis 1907. Diese Messungen, die in der Stadtmitte durchgeführt wurden,

---

\* Eine englische umfangreichere Ausfertigung dieses Textes findet sich in Cubasch, U. & Kadow, C. (2011): The change of the global climate and regional climate aspects of Berlin and Brandenburg. Die Erde 142 (1/2), im Druck.



**Abb. 5.** Die Temperaturentwicklung (7-jähriges gleitendes Mittel) für *Berlin & Dahlem* (schwarz), *H & C* (grau) und *Potsdam* (grau gepunktet). Die Werte, die vor der Gründung des Preußischen Meteorologischen Instituts ermittelt wurden, werden gestrichelt dargestellt. Sie können wegen ihrer Ungenauigkeit und nicht mehr nachvollziehbaren Kalibrierung nicht für eine Trendbetrachtung genutzt werden

wurden im Hinblick auf den Wärmeinsel-Effekt korrigiert und mit der Dahlemer Temperaturmessreihe zusammengeführt. Seit 1908 wird diese in der Königlich Preußischen Gärtner-Lehranstalt in Berlin-Dahlem, damals einer Vorstadt von Berlin, erstellt. Der Messort ist nach 1945 an verschiedene Standorte in Berlin-Dahlem verschoben worden und befindet sich seit 1997 im Botanischen Garten. Details zu dieser Zeitreihe finden sich in Pelz (1997, 2000, 2007).

2. Die *H & C*-Messreihe, die von Hupfer & Chmielewski (2007) beschrieben wird, basiert auf den Messungen aus der Stadtmitte für 1756 bis 1930 und wurde dann von 1931 an mit der Temperaturreihe von Berlin-Dahlem ergänzt. Zu der Dahlemer Reihe wurde dabei ein Zuschlag, der den Wärmeinsel-Effekt repräsentieren soll, addiert. Diese Temperaturmessreihe steigt daher schneller an als der *Berlin & Dahlem*-Datensatz und ist im Jahr 2000 ungefähr 1 °C wärmer als dieser.

Obwohl beide Zeitreihen bis 1901 zumindest theoretisch auf derselben Datenbasis beruhen, so sind sie doch vor 1947 nur teilweise konsistent. Vor 1760 stimmen sie nicht überein, sie sind fast identisch zwischen 1760 und 1800 und zeigen dann ein ähnliches Verhalten, aber mit unterschiedlicher Amplitude zwischen 1800 und 1830. Die Gründe für diese Unterschiede werden aus den Dokumentationen der Datenreihen nicht ersichtlich.

3. Die *Potsdamer Säkular-Reihe* basiert auf meteorologischen Beobachtungen seit 1893 für Potsdam, das ungefähr 20 km von Dahlem entfernt ist (Klimareihe 2010). Anhand dieser Reihe kann wegen der geringen räumlichen Distanz die Konsistenz der anderen beiden Temperaturreihen überprüft werden, um eventuelle Feh-

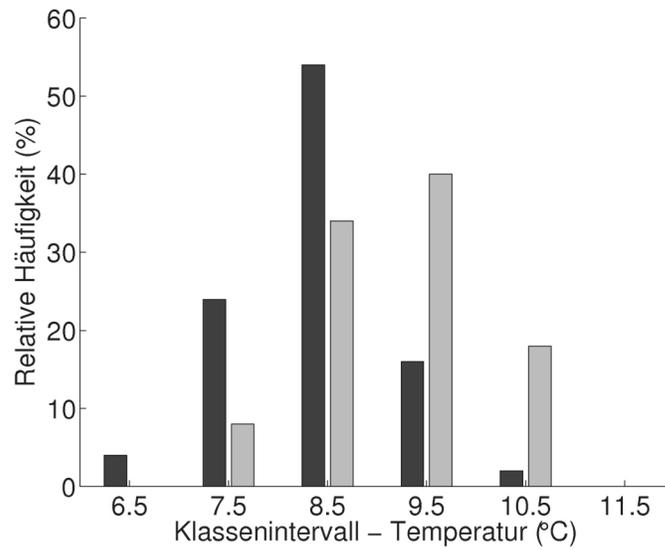
ler bei den Messungen zu identifizieren. Eine Fortführung der *Berlin & Dahlem*-Reihe und der *Potsdam*-Reihe ist essenziell, um einen hohen Qualitätsstandard der Messungen zu behalten.

### Die Temperaturentwicklung der letzten 310 Jahre

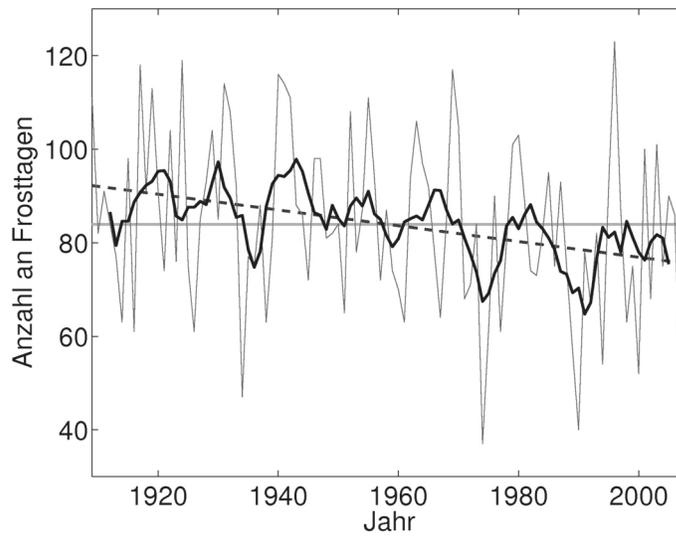
Abbildung 5 zeigt die Temperaturentwicklung ab 1700. Deutlich erkennbar ist das Temperaturminimum im Jahr 1740, dem Krönungsjahr von Friedrich II. In vielen Aufzeichnungen wird es als extrem kaltes Jahr mit geringen Ernteerträgen und einer Hungersnot beschrieben. Der unterschiedliche Verlauf der Temperaturkurven vor 1850 ist auf Probleme der Messinstrumente, bei der Durchführung der Messungen und der Kalibrierung zurückzuführen. Die Kurven werden deshalb gestrichelt gezeichnet, da sie nicht zuverlässig genug sind, um sie in eine Betrachtung mit einzubeziehen. Besonders der Zeitraum 1780 bis 1835 gilt nach Pelz (2000) als kritisch in der *Berlin & Dahlem*-Reihe. Nur zum Teil dokumentiert, wurden die Werte mehrfach und vor allem nach oben korrigiert, sodass sich im Vergleich zu den Folgejahren eine nicht realistische Abkühlung abzeichnet. Mit der Einrichtung des Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts im Jahre 1847 entstand eine wissenschaftliche Basis für die Wetteraufzeichnungen.

Die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts beginnt mit einer kalten Periode, von der aus die Temperatur in der *Berlin & Dahlem*-Reihe kontinuierlich mit einer Rate von 0,104 K/Dekade (100-jähriger linearer Trend) ansteigt. Dieser Anstieg wird von einer Stabilisierung in den Jahren von 1910 bis 1985 unterbrochen, die auch in der globalen Mitteltemperaturkurve von 1940 bis 1970 zu erkennen ist. Sie wird hervorgerufen durch die ständig wachsende Industrialisierung und dem damit einhergehenden vermehrten Aerosoleintrag, der in der Atmosphäre zu einer Abkühlung führt. Gleichzeitig kommt es zu einer Erwärmung durch die zunehmende Konzentration der Treibhausgase. Beide Effekte haben sich in dieser Zeit kompensiert. Erst nach 1970 führen Maßnahmen zur Reduktion der Luftverschmutzung bei gleichzeitig immer noch ansteigender Treibhausgaskonzentration dazu, dass die Atmosphäre sich deutlich erwärmt (Solomon et al. 2007). Der 100-jährige Trend in Berlin ist mit 0,104 K/Dekade höher als der im IPCC 2007 genannte globale Mittelwert von 0,075 K/Dekade, was auf die kontinentale Lage von Berlin zurückzuführen ist. Die *Potsdamer* Temperaturkurve folgt in ihrem Verlauf im Wesentlichen der *Berlin & Dahlem*-Reihe. Das zeigt, dass das Klima in Potsdam und Dahlem sich nicht wesentlich unterscheiden. Dank der Parallelmessungen in Potsdam ist eine unabhängige Verifikation der Messungen in Dahlem möglich.

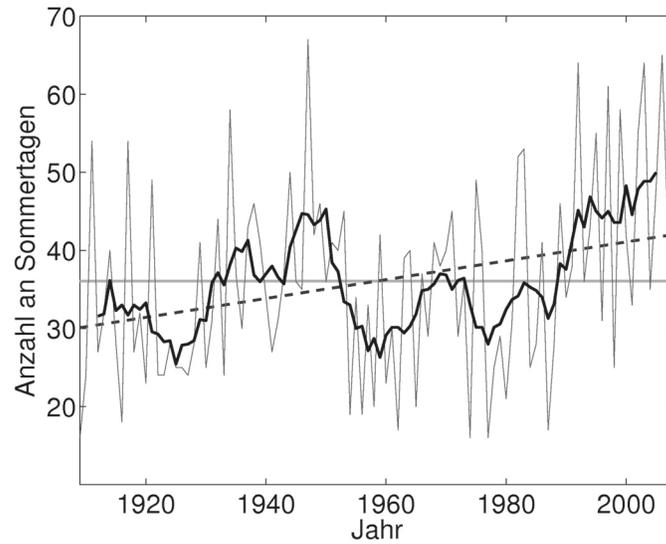
Die Häufigkeitsverteilung der Jahresmitteltemperatur zeigt eine Zunahme der höheren Werte, wenn man die Periode 1860 bis 1909 mit dem Zeitabschnitt 1960 bis 2009 (Abb. 6) vergleicht. Während vor etwas über 100 Jahren eine Jahresmitteltemperatur von 6,5 °C in 5 % aller Jahre erreicht wird, werden derartig kalte Jahresmitteltemperaturen heutzutage fast nicht mehr beobachtet. Eine Jahresmitteltemperatur von 10,5 °C wurde im 19. Jahrhundert nur für 3 % der Jahre aufgezeich-



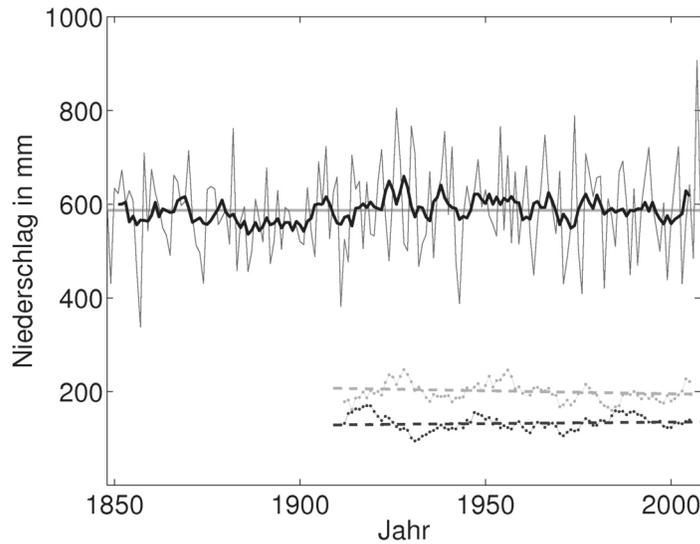
**Abb. 6.** Die Häufigkeitsverteilung der mittleren Jahrestemperatur berechnet anhand der *Berlin & Dahlem*-Temperaturreihe für die Zeitabschnitte 1860 bis 1909 (schwarz) und 1960 bis 2009 (grau)



**Abb. 7.** Die Anzahl der Tage im Jahr mit Temperaturen unter 0 °C (Frosttage) für *Berlin & Dahlem* (graue dünne Kurve, 7-jähriges gleitendes Mittel: schwarze Kurve); der Mittelwert für die Jahre 1909–2008 wird durch die graue gerade Linie angezeigt, der 100-jährige signifikante lineare Trend durch die gestrichelte schwarze Linie (95 % Niveau, Mann-Kendall-Test; Schönwiese 2006)



**Abb. 8.** Die Anzahl der Tage im Jahr mit Temperaturen über 25 °C (Sommertage) für *Berlin & Dahlem* (graue dünne Kurve, 7-jähriges gleitendes Mittel: schwarze Kurve); der Mittelwert für die Jahre 1909 bis 2008 wird durch die graue Linie angezeigt, der 100-jährige signifikante lineare Trend durch die gestrichelte schwarze Linie (95 % Niveau, Mann-Kendall-Test; Schönwiese 2006)



**Abb. 9.** Der Niederschlag von 1848 bis 2008 (graue dünne Kurve, 7-jähriges gleitendes Mittel: schwarze Kurve) in mm im Jahr sowie der 161-jährige Mittelwert (graue Linie) für *Berlin & Dahlem*; der 7-jährig gemittelte Niederschlag für Winter (DJF) wird in schwarz gepunktet dargestellt, für Sommer (JJA) in grau; die 100-jährigen nicht signifikanten Trends werden durch die gestrichelten Linien dargestellt (95 % Niveau, Mann-Kendall-Test; Schönwiese 2006)

net, am Ende des 20. Jahrhunderts jedoch für über 12 %. Gegenüber dem Ende des 19. Jahrhunderts hat die Anzahl der Frosttage (unter 0 °C) signifikant um 17 Tage abgenommen und liegt jetzt bei 80 Tagen (Abb. 7). Die Anzahl der Tage mit Temperaturen über 25 °C (Sommertage) hat im gleichen Zeitraum signifikant um ungefähr 12 Tage pro Jahr zugenommen (Abb. 8).

### **Die Niederschlagsentwicklung der letzten 110 Jahre**

Der mittlere Jahresniederschlag in der *Berlin & Dahlem*-Reihe verändert sich nur marginal und unsignifikant mit einem Anstieg von 0,2 % seit Anfang des 20. Jahrhunderts (Abb. 9 oben). Es ist eine Tendenz zu mehr Winterniederschlag (ca. 3 % während der letzten 100 Jahre) und weniger Sommerniederschlag zu verzeichnen (ca. 4 % weniger, Abb. 9 unten). Im Jahresmittel heben sich beide Effekte auf. Die Niederschlagstrends sind nicht signifikant und bestätigen die Ergebnisse von Hupfer & Chmielewski (2007).

### ***Ausblick***

Der globale Klimawandel ist auch in Berlin bereits sichtbar und wird sich fortsetzen. Auf Basis von Simulationen mit einem Regionalmodell (Jacob et al. 2008) kann man für das Ende des 21. Jahrhunderts von einem Temperaturanstieg von 3,0 bis 3,5 °C für das mittlere IPCC-Szenarium A1B ausgehen, zusammen mit einem Anstieg des Winterniederschlags um 10 bis 20 % und einer Abnahme des Sommerniederschlags um 10 bis 30 %. Dieses entspricht den Ergebnissen von Gerstengarbe et al. (2003).

Die Temperaturmessungen vor 1850 sind sehr unzuverlässig und können in der hier abgebildeten Form nicht zur Herleitung von Klimatrends verwendet werden. Eine Abhilfe kann die Untersuchung von Baumringweiten und -dichten schaffen. Mit ihnen als Proxy kann man die Temperaturen rekonstruieren (Briffa et al. 2004). Für Berlin macht Freund (2010) einen ersten Versuch, die Berliner Temperaturreihe aus den Kiefernbeständen des Tegeler Forstes herzuleiten. Allerdings reicht diese Rekonstruktion nur bis in das Jahr 1840 zurück. Es müssen daher ältere Baumbestände ausfindig gemacht werden, mit denen man die Rekonstruktionen verlängern kann.

Geht man von diesem Szenario aus, wird es mehr Sommertage, aber auch weniger Frosttage geben. Besonders die Zunahme der heißen Tage bedeutet ein erhöhtes Risiko für die Gesundheit, aber auch für die Infrastrukturen allgemein. Die Stadt Berlin sollte entsprechende Vorsorgemaßnahmen treffen.

Die tendenzielle Änderung des Niederschlags bedeutet, dass man längerfristig Wasserspeicher braucht, um eine gleichmäßige Versorgung zu gewährleisten.

### ***Schlussfolgerung***

Die hier diskutierten Daten lassen erkennen, in welchem Maße sich der globale Klimawandel bereits in Berlin auswirkt. Dank der Weitsicht der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften vor mehr als 300 Jahren liegen heute in Berlin die weltweit längsten Messreihen vor. Die Fortführung der Messungen ist unabdingbar, damit man auch in Zukunft auf lang zurückreichende Daten zurückgreifen kann, um den Klimawandel zu beschreiben und die globalen Projektionen des IPCC's für Berlin zu skalieren. Die heutige Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften sollte darauf drängen, dass beide, die Messungen in Berlin-Dahlem und in Potsdam, auch in Zukunft weitergeführt werden. Um die *Berlin & Dahlem*-Reihe vor 1850 vernünftig interpretieren und validieren zu können, sind weitere Studien und Forschung wie die Baumring- und Isotopenanalyse der Dendroklimatologie notwendig. Die Akademie sollte diese Forschung aktiv unterstützen und auch prüfen, ob man die Zeitreihe noch weiter in die Vergangenheit ausdehnen kann und welche Baumbestände im Großraum Berlin-Brandenburg für eine derartige Studie geeignet sind.

### **Danksagung**

F. Chmielewski und G. Myrcik (2009) stellten die Daten bereit. Viele Diskussionen mit I. Kirchner, M. Freund, G. Myrcik und J. Heise halfen, die Entstehung der Datenreihen besser zu verstehen und sie zu interpretieren. C. Deetz unterstützte uns bei der Formatierung des Literaturverzeichnisses, M. Schuster übernahm das Korrekturlesen. Ihnen allen sei herzlich gedankt. Diese Arbeit basiert auf einem Vortrag zu einem Kolloquium anlässlich des 300. Todestages von Gottfried Kirch, der in *Cubasch, U. & C. Kadow (2010): Die Berliner Temperaturreihe. Acta Historica Astronomiae 41, 112–132* abgedruckt wurde.

# **Simulation des gegenwärtigen und zukünftigen Klimas von Brandenburg**

*Eberhard Schaller*

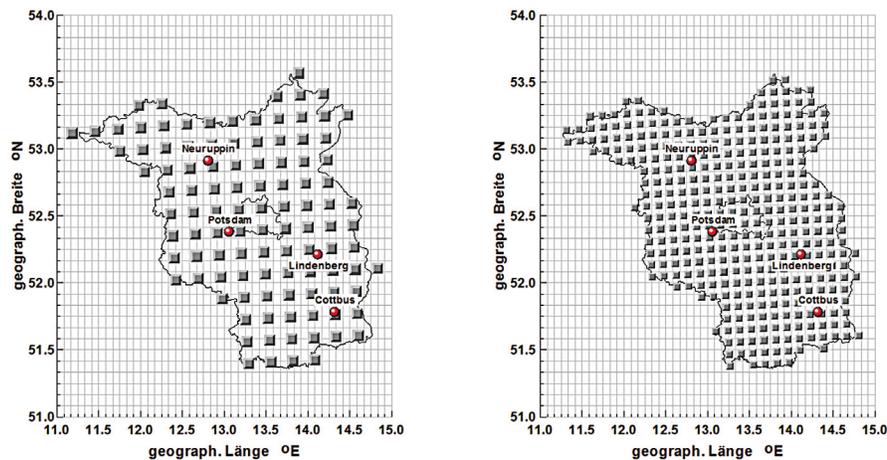
## ***Einleitung***

Wie von *Cubasch* und *Kadow* im vorherigen Beitrag gezeigt worden ist, haben sich die atmosphärischen Kenngrößen bereits im 20. Jahrhundert mit der Zeit langfristig verändert. Am deutlichsten wird dies bei der bodennahen Lufttemperatur. Damit stellt sich die Frage, wie sich diese Trends in der Zukunft entwickeln werden. Ein Werkzeug zur Beantwortung dieser Frage ist die Klimamodellierung, mit deren Hilfe die zeitliche Entwicklung der atmosphärischen Kenngrößen als Ergebnis von unterschiedlichen Annahmen über das menschliche Verhalten zunächst global in die Zukunft, z. B. bis 2100, projiziert werden kann.

## ***Globale und regionale Klimamodellierung***

Die horizontale Skala globaler Klimamodelle (GCMs: global climate models) liegt bei 100 km und mehr, das heißt, Informationen von einem GCM sind repräsentativ für Flächenelemente von mehreren 10.000 km<sup>2</sup>. Bei einer Fläche Brandenburgs von knapp 30.000 km<sup>2</sup> erhält man also aus einem GCM für ein Gebiet von dieser Größe keine räumlich differenzierten Informationen über die Klimakenngrößen, wie sie als Voraussetzung z. B. für planerische Zwecke benötigt werden. Globale Berechnungen mit feinerer horizontaler Auflösung und über Zeiträume von einem Jahrhundert und mehr sind wegen der begrenzten Rechnerressourcen jedoch bis heute nicht verfügbar. Eine räumliche Verfeinerung geht daher immer mit einer Begrenzung des Rechengebiets, z. B. auf einen Kontinent, einher. Modelle dieses Typs (verfeinerte horizontale Auflösung bis herunter zu 10 km für ein begrenztes Rechengebiet, z. B. Mitteleuropa) bezeichnet man als dynamische (oder auch prozessbasierte) regionale Klimamodelle (dRCMs: dynamical regional climate models). Abbildung 10 zeigt, wie gut das Gebiet von Brandenburg in den dRCMs CLM und REMO räumlich aufgelöst wird.

Eine zweite Möglichkeit, die räumlich groben Informationen eines GCMs zu verfeinern, bietet das statistische „Downscaling“ (sD). Dieses Prinzip verwenden z. B. die Modelle STAR (z. B. Orłowsky et al. 2008) und WEREX/WETTREG (beispielsweise Spekat et al. 2007). Bei dieser Methode wird die räumliche Verteilung der Klimakenngrößen aus typischerweise nach dem Zweiten Weltkrieg ge-

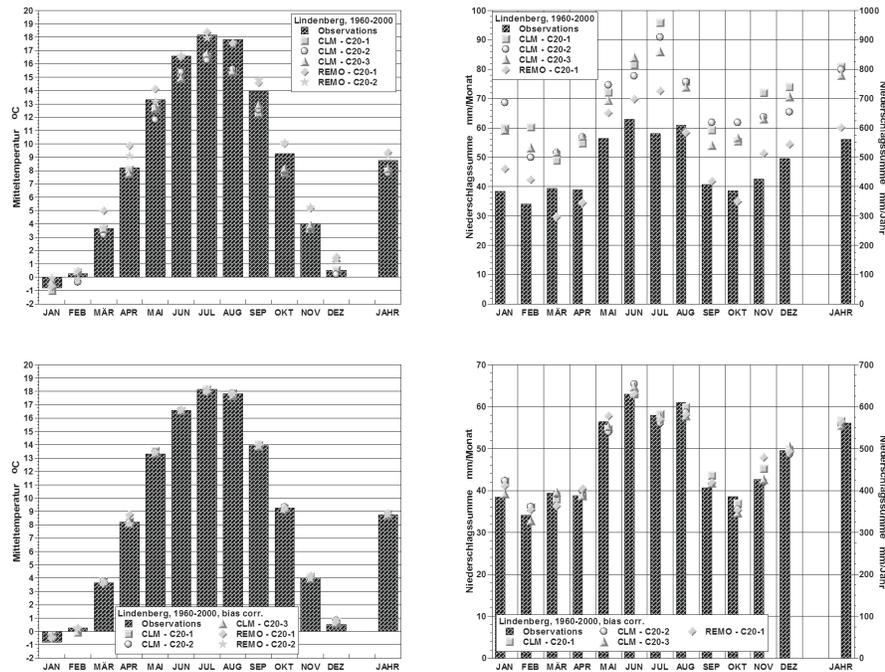


**Abb. 10.** Räumliche Auflösung der regionalen Klimamodelle CLM (ca. 18 km, links) und REMO (ca. 10 km, rechts) für Brandenburg

wonnenen Beobachtungen mit dem Klimaänderungssignal des GCMs kombiniert. Wegen der Verwendung gegenwartsnaher Beobachtungen schneiden sD-Ansätze beim Vergleich zwischen Modellergebnissen und Beobachtungen für das Gegenwartsklima im Allgemeinen besser ab als dRCMs, bei denen die Wahrscheinlichkeit systematischer Abweichungen viel höher ist, da hier keinerlei Beobachtungen von Klimakenngrößen verwendet werden (müssen). Der Schluss, dass damit die sD-Ansätze auch die zukünftige Klimaentwicklung realitätsnäher beschreiben, ist jedoch unzulässig, da sich systematische Unterschiede zwischen zukünftigen und gegenwärtigen Klimawerten aufheben. Dann kommt der Vorteil der dRCMs, auf der Basis physikalischer Gesetzmäßigkeiten auch Veränderungen der räumlichen Verteilungsmuster und ggf. bisher nicht beobachtete Extremwerte erzeugen zu können, in vollem Umfang zum Tragen. Es ist eine offene, hier nicht weiter diskutierte wissenschaftliche Frage, wie sich dRCMs und sD-Ansätze optimal oder mindestens besser als bisher kombinieren lassen.

### ***Evaluierung der dynamischen regionalen Klimamodelle für das Gegenwartsklima***

Im Folgenden werden die Ergebnisse von CLM (z. B. Böhm et al. 2006) und REMO (z. B. Jacob 2001) für Brandenburg weiter besprochen. Abbildung 11 zeigt in der oberen Reihe links für die Temperatur und rechts für den Niederschlag die systematischen Unterschiede zwischen CLM (drei Modellläufe) und REMO (eine Simulation) auf der einen und den Beobachtungen am Observatorium Lindenberg des Deutschen Wetterdienstes auf der anderen Seite. Der Jahresverlauf beider Parameter wird in etwa gleich wiedergegeben. Besonders beim Niederschlag ist jedoch eine gleichmäßige Differenz (systematische Abweichung, „Bias“), die für die



**Abb. 11.** Systematische Unterschiede zwischen Beobachtungen und Simulationen für den mittleren Jahresgang und den Jahresmittelwert der Periode 1960 bis 2000 an der Station Lindenberg des Deutschen Wetterdienstes vor (obere Reihe) und nach (untere Reihe) der systematischen Korrektur, links für die Temperatur, rechts für den Niederschlag

einzelnen Simulationen unterschiedlich groß ist, festzustellen. Deshalb werden die Simulationen – jede für sich – nach folgendem Verfahren korrigiert:

- Die Monatswerte werden der Größe nach sortiert. Damit wird der Zeitbezug entfernt.
- Für jeden Monat werden die Differenzen zwischen Beobachtung und Simulationsergebnissen separat ermittelt. Für den Zeitraum 1960 bis 2000 erhält man so pro Monat 41 Differenzen.
- Diese Differenzen werden erneut der Größe nach sortiert, und der Median (bei 41 Werten der 21. Wert) wird als systematische Korrekturgröße (Bias-Korrektur) ausgewählt, mit dem alle Modellwerte verschoben werden.
- Der modifizierte Jahresmittelwert wird aus den korrigierten Monatsmitteln gebildet.

In der unteren Reihe ist das Ergebnis dieses recht einfachen Korrekturverfahrens dargestellt. Man erkennt eine deutliche Verkleinerung der Unterschiede zwischen beobachteten und berechneten Werten. Die Unterschiede liegen nur noch bei wenigen Zehntel Grad bzw. einigen Millimetern pro Monat. Somit scheint die Annahme, dass die Unterschiede zwischen Messungen und dRCM-Ergebnissen primär syste-

matischer Natur sind, zuzutreffen. Ähnliche Ergebnisse erhält man auch für zahlreiche weitere Stationen, und zwar sowohl in Brandenburg als auch beispielsweise in Bayern, wo die Unterschiede in der Orographie deutlich stärker ausgeprägt sind.

Die Bias-Korrektur kann jedoch nicht für alle Mittelungsintervalle und auch nicht für jeden Klimaparameter sinnvoll angewendet werden. So funktioniert sie beim Niederschlag zwar für Monats-, nicht jedoch für Tagesmittelwerte, weil die Anzahl der Tage mit und ohne Niederschlag in den beobachteten und den modellierten Zeitreihen nicht identisch ist, was zu unrealistischen (positiven und negativen) Korrekturen führen würde. Die relative Feuchte ist ein Beispiel für einen Klimaparameter, für den die Anwendung einer Bias-Korrektur nicht sinnvoll ist.

### ***Klimaentwicklung für Brandenburg im 21. Jahrhundert***

Nun lassen sich die Bandbreiten der langfristigen Veränderungen für die Temperatur und den Niederschlag abschätzen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Rechenläufe. Sowohl für CLM als auch für REMO wurden die Projektionen A1B und B1 des IPCC (Nakićenović et al. 2000) zugrunde gelegt. Das Untersuchungsgebiet von CLM umfasst dabei ganz Europa (NW-Ecke: westlich von Island, SO-Ecke im Vorderen Orient), während ganz Europa mit REMO nur mit einer Auflösung von ca. 50 km gerechnet wurde und die reduzierte Auflösung von ca. 10 km nur für Mitteleuropa (Deutschland, Österreich und Schweiz) vorliegt. An den Rändern benötigen beide Modelle die Ergebnisse eines GCMs, die in allen Fällen von ECHAM5 (Röckner et al. 2006) bereitgestellt wurden. Von ECHAM5 liegen für beide Emissionsprojektionen mehrere globale Simulationen vor, die mit unterschiedlichen Anfangsbedingungen gestartet wurden. Somit konnten mit beiden dRCMs mehrere (je zwei) Läufe mit regionaler Verfeinerung durchgeführt werden. Für REMO ist zusätzlich eine Simulation auf der Basis der Projektion A2 verfügbar.

**Tabelle 1.** Anzahl der Realisierungen der einzelnen Zukunftsprojektionen

| Modell                       | IPCC-SRES-Emissionsprojektion (Nakićenović et al. 2000) |     |    |
|------------------------------|---|-----|----|
|                              | A2  | A1B | B1 |
| CLM<br>(Hollweg et al. 2008) | –   | 2   | 2  |
| REMO<br>(Jacob et al. 2008)  | 1   | 2   | 2  |

A2 und A1B sind eher pessimistische Szenarien mit im Lauf des 21. Jahrhunderts deutlich ansteigenden anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, wobei sich die Unterschiede zwischen beiden Zeitverläufen erst in der zweiten Jahrhunderthälfte merklich ausprägen, sodass beide Projektionen in ihrer Auswirkung auf die Klimakenngrößen zusammengefasst werden können, da sich die angesprochenen Emissionsunterschiede erst nach 2100 darauf auswirken. B1 ist eine eher optimistische Sicht auf das Verhalten der Menschen im 21. Jahrhundert. In diesem Szenario haben die durch menschliche Aktivitäten bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen am Ende des 21. Jahr-

hundreds nach einem Maximum zur Mitte des Jahrhunderts in etwa die gleiche Größenordnung wie im Jahr 2000.

Tabelle 2 fasst die Bandbreiten der Temperaturveränderung zur Mitte (für das 30-jährige Mittel 2036 bis 2065) und gegen Ende (für 2071 bis 2100) des 21. Jahrhunderts im Vergleich zu 1961 bis 1990 zusammen. Die Spannweiten betragen, mit Ausnahme des Klimamittels 2036 bis 2065 im Winter bei den Projektionen A2/A1B, nur wenige Zehntel Grad, was auch daran liegen mag, dass die Anfangs- und Randwerte für beide dRCMs vom gleichen Globalmodell (ECHAM5) stammen. Die erhöhte Spannweite von 1,4 Grad deutet an, dass bei Vergrößerung des Ensembles von dRCM-Simulationen sowie bei Einbeziehung der sD-Ansätze größere Bandbreiten wahrscheinlich sind. Zum Vergleich: Die relative Genauigkeit der Temperaturdifferenzen in den einzelnen Simulationen liegt bei  $\pm 0,5$  Grad.

**Tabelle 2.** Spannweite der Temperaturveränderung zur Mitte (für das 30-jährige Mittel 2036 bis 2065) und gegen Ende (für 2071 bis 2100) des 21. Jahrhunderts im Vergleich zur Periode 1961–1990; in Klammern ist die Anzahl der Modellläufe im jeweiligen Ensemble (5 = 2 x CLM und 3 x REMO, 4 = 2 x CLM und 2 x REMO, 3 = 2 x CLM und 1 x REMO) angegeben

| IPCC-SRES-Emissionsprojektion | Winter (DJF)<br>2036–2065 | Sommer (JJA)<br>2036–2065 | Jahr<br>2036–2065 |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| A2 / A1B                      | 1,8 ... 3,2 K (5)         | 1,7 ... 1,9 K (5)         | 1,6 ... 2,3 K (5) |
| B1                            | 1,3 ... 1,6 K (3)         | 1,0 ... 1,3 K (3)         | 1,0 ... 1,4 K (3) |
|                               | 2071–2100                 | 2071–2100                 | 2071–2100         |
| A2 / A1B                      | 3,7 ... 4,3 K (5)         | 2,9 ... 3,3 K (5)         | 3,0 ... 3,4 K (5) |
| B1                            | 2,6 ... 2,7 K (3)         | 1,9 ... 2,2 K (3)         | 2,0 ... 2,4 K (3) |

Tabelle 3 gibt die entsprechenden Spannweiten für den Niederschlag an. Es fällt auf, dass sich die Jahressummen im Verlauf des 21. Jahrhunderts praktisch nicht verändern, während sich allmählich eine Abnahme des Niederschlags im Sommer und eine fast gleich große Zunahme im Winter ausprägen.

**Tabelle 3.** Spannweite der prozentualen Änderung des Niederschlags zur Mitte (für das 30-jährige Mittel 2036 bis 2065) und gegen Ende (für 2071 bis 2100) des 21. Jahrhunderts im Vergleich zur Periode 1961–1990; in Klammern ist wieder die Anzahl der Modellläufe genannt

| IPCC-SRES-Emissionsprojektion | Winter (DJF)<br>2036–2065 | Sommer (JJA)<br>2036–2065 | Jahr<br>2036–2065 |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| A2 / A1B                      | 2 ... 8 % (4)             | –13 ... –8 % (4)          | –2 ... 3 % (4)    |
| B1                            | –4 ... 3 % (3)            | –5 ... 1 % (3)            | –1 ... 3 % (3)    |
|                               | 2071–2100                 | 2071–2100                 | 2071–2100         |
| A2 / A1B                      | 13 ... 17 % (4)           | –21 ... –14 % (4)         | –2 ... 3 % (4)    |
| B1                            | 8 ... 11 % (3)            | –16 ... –9 % (3)          | 1 ... 3 % (3)     |

Die vorgestellten Bandbreiten für Brandenburg wurden aus einem noch sehr kleinen Ensemble von Simulationen ermittelt. Im Rahmen des EU-Vorhabens ENSEMBLES (Hewitt und Griggs 2004; Déqué 2009) liegt eine Reihe weiterer regionaler

Simulationen für Europa mit horizontalen Auflösungen zwischen 25 und 50 km vor, die in eine weiterführende Untersuchung einbezogen werden könnten. Weitere Erfolg versprechende Aktivitäten (neue Simulationen) sind gegenwärtig in Vorbereitung.

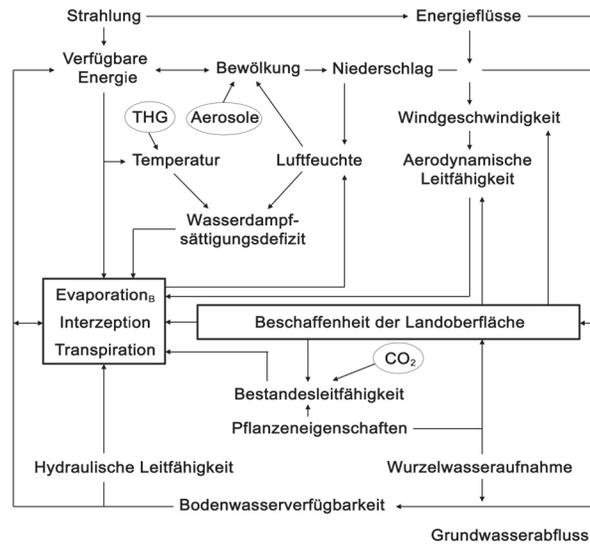
# **Simulation von Wasserhaushaltskomponenten unter dem Wandel des regionalen Klimas**

*Barbara Köstner, Matthias Kuhnert*

## ***Einführung***

Der Wasserhaushalt einer Landoberfläche wird primär vom Niederschlag bestimmt. Dieser teilt sich auf in die Komponenten „Verdunstung“ und „Abfluss“. Der Abfluss steht für die Grundwasserbildung und Versorgung von Gewässern zur Verfügung. Mehr als die Hälfte des Niederschlages wird in der Regel wieder verdunstet. Die Verdunstung setzt sich zusammen aus dem Niederschlag, der nicht auf den Boden gelangt, sondern direkt von Pflanzenoberflächen aufgefangen wird (Interzeption), und aus den Anteilen, die von Pflanzen (Transpiration) und offenem Boden (Bodenevaporation) verdunstet werden. Die Verteilung des Wassers in einer Landschaft ist von deren Topographie, Geologie und Bodeneigenschaften sowie von der Pflanzenbedeckung und den meteorologischen Bedingungen abhängig. Sie steuern auf unterschiedlichen zeitlichen Skalen die Aufteilung des verfügbaren Wassers (vgl. jeweils *Lischeid*, S. 57–62, und *Grünewald*, S. 63–70). Bei Landökosystemen liegt das größte Potenzial der Einflussnahme auf die Wasserbilanz in der Steuerung der Verdunstung und des Wasserrückhalts. Dies geschieht vor allem durch die räumliche Verteilung von Landnutzungstypen und Pflanzenarten, den Anteil der Bodenbedeckung, die Wasserspeicherfähigkeit von Boden und Humus und die Art der Bodenbearbeitung.

Der Klimawandel hat unterschiedlichen Einfluss auf die Komponenten des Wasserhaushalts. Während die Klimamodelle keinen eindeutig gerichteten Trend der Jahresniederschläge zeigen (vgl. *Schaller*, S. 37–42), lassen Beobachtungen auf eine Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr und eine Abnahme im Sommerhalbjahr schließen (vgl. *Cubasch/Kadow*, S. 30–36). Dies bedeutet, dass gerade zu Zeiten eines hohen Bedarfs im Sommer, zum Beispiel für das Pflanzenwachstum, die Verfügbarkeit von Wasser niedriger ist und Pflanzen auf das im Boden gespeicherte Wasser oder Bewässerung angewiesen sind. Dagegen steigt die Hochwassergefahr im Winterhalbjahr, da die Abflüsse erhöht und die Verdunstung niedrig ist. Die langjährigen Beobachtungen wie auch die Klimaprojektionen gehen übereinstimmend von einer Zunahme der Jahresmitteltemperaturen aus, womit ein höherer Verdunstungsanspruch verbunden ist. Die über verschiedenen Landnutzungen gemessene Verdunstung weist hohe Heterogenität auf, die mit beginnender Bodentrockenheit steigt (Beyrich 2004). Da die Verdunstung von vielen Faktoren gesteuert wird, ist sie großflächig schwer zu quantifizieren und ihr Verhalten unter

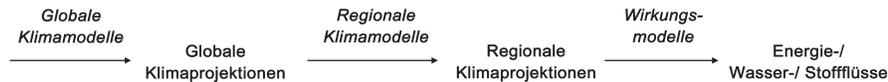


**Abb. 12.** Wechselbeziehungen von Faktoren, die die Verdunstung beeinflussen (THG = Treibhausgase,  $Evaporation_B$  = Bodenevaporation)

Klimawandel unklar (Abb. 12). Auf globaler Ebene geht man von einer allgemeinen Zunahme der potenziellen Verdunstung und, zumindest über Wasserflächen, auch der realen Verdunstung aus (Bates et al. 2008). Allerdings wurde in den letzten Jahrzehnten eine Abnahme der mit Verdunstungspflanzen bestimmten potenziellen Verdunstung beobachtet. Dies wird besonders auf eine Reduktion der Strahlungsenergie durch Aerosole („global dimming“) zurückgeführt (Gifford 2005; Roderick et al. 2009). Ein abnehmender Trend ist seit den letzten Jahren jedoch nicht mehr zu erkennen. Die auf Messdaten basierte reale Verdunstung von Landökosystemen zeigt in südlichen Breiten seit dem letzten Jahrzehnt einen abnehmenden Trend, der mit Limitierung durch Bodentrockenheit begründet wird (Jung et al. 2010). Für die Simulation der zukünftigen Verdunstung innerhalb des Wasserhaushalts und die Bestimmung des Vorzeichens (zunehmend/abnehmend) wird daher entscheidend sein, ob die relevanten Prozesse in den Modellen berücksichtigt und korrekt miteinander verrechnet sind. Zur räumlichen Bilanzierung müssen in ausreichender Dichte auch die erforderlichen Daten zur Extrapolation und Validierung verfügbar sein.

### **Modellsimulationen und Datenbedarf**

Modellsimulationen von Wasserhaushaltskomponenten dienen zum einen der theoretischen Zusammenfassung und Prüfung des Prozessverständnisses und zum anderen der räumlichen und zeitlichen Extrapolation der Wasserflüsse. Im Zusammenhang mit der Klimafolgenabschätzung spricht man bei Modellen, die Auswirkungen des Klimawandels simulieren, von Wirkungsmodellen. Im vorliegenden Fall wä-



**Abb. 13.** Abfolge von Modellen und Simulationsergebnissen von der globalen Ebene bis zu regionalen oder lokalen Auswirkungen

ren dies Wasserhaushalts- oder Boden-Vegetation-Atmosphäre-Transfer-Modelle (SVAT-Modelle), die Wirkungen auf Energie-, Wasser- und Stoffflüsse quantifizieren (Abb. 13). Von den einzelnen Komponenten ist der Anteil der Verdunstung, insbesondere die Transpiration schwierig zu quantifizieren. Im Prinzip hängt die Verdunstung einer nassen Oberfläche von der verfügbaren Energie, dem Sättigungsdefizit der Luft und der aerodynamischen Leitfähigkeit ab. Praktisch lassen sich diese Größen über Strahlung, Wärmeströme, Luftfeuchte, Temperatur und Windgeschwindigkeit bestimmen. Für die Transpiration der Pflanzen muss zudem die „mittlere“ Blattleitfähigkeit und für die räumliche Extrapolation auf einen Pflanzenbestand oder Landschaftsausschnitt die Summe aller aktiven Blattflächen bekannt sein. Dafür können nur Näherungswerte angegeben werden.

Die Blattleitfähigkeit ist selbst ein sehr komplexer Pflanzenparameter, dessen zeitliche Dynamik von der Photosynthese abhängt. In Pflanzenmodellen wird die Blattleitfähigkeit daher vom  $\text{CO}_2$ -Austausch abgeleitet. Ein deutliches Defizit bei der Simulation besteht darin, dass die Modelle die Transpiration bei zunehmender Bodentrockenheit unzureichend simulieren und zur Überschätzung der Verdunstung neigen (Falge et al. 2005; Schwärzel et al. 2007). Ein Nachteil von Wasserhaushaltsmodellen bzw. klassischen SVAT-Modellen besteht darin, dass sie entweder nur die Gesamtverdunstung simulieren oder die Transpiration unabhängig von der Photosynthese der Pflanzen betrachten. Dies führt meist zu einer geringeren Variabilität der Transpiration (vgl. Jochheim et al. 2001). Der Anstieg der atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Konzentration wird zunehmend die Blattleitfähigkeit reduzieren. Annahmen über die Blattleitfähigkeit ohne Berücksichtigung der  $\text{CO}_2$ -Abhängigkeit sind folglich für Simulationen der Verdunstung unter zukünftigem Klimawandel ungeeignet.

Für die räumliche Simulation der Transportprozesse werden standortgenaue Daten zu Transferfunktionen von Vegetation und Boden benötigt. Dafür werden Übertragungsfunktionen entwickelt, die allerdings die Variabilität der Werte in heterogenen Landschaften nur eingeschränkt wiedergeben können. Zur punktuellen Überprüfung werden langzeitliche Messwerte benötigt, die kaum vorhanden sind. Die räumliche Extrapolation erfolgt anhand von gitterbasierten Daten zu Topographie, Boden, Vegetation und Landnutzung. Diese Daten sollten in hoher Auflösung und über große Räume möglichst einheitlich vorhanden sein. Kartierungen am Boden können durch Produkte aus der Fernerkundung unterstützt und ergänzt werden (Langer et al. 2010). Die zeitliche Dynamik von Simulationen ist vor allem durch saisonale Änderungen der Vegetationsentwicklung (Phänologie) und kurzzeitliche Änderungen der meteorologischen Variablen gegeben. Simulationen unter zukünftigem Klimawandel benötigen regionale Klimaprojektionen mit möglichst hoher räumlicher Auflösung (vgl. Schaller, S. 37–42). Um die Spannweite von möglichen Ergebnissen, d. h. die Unsicherheit, darstellen zu können, müssen verschiedene Pro-

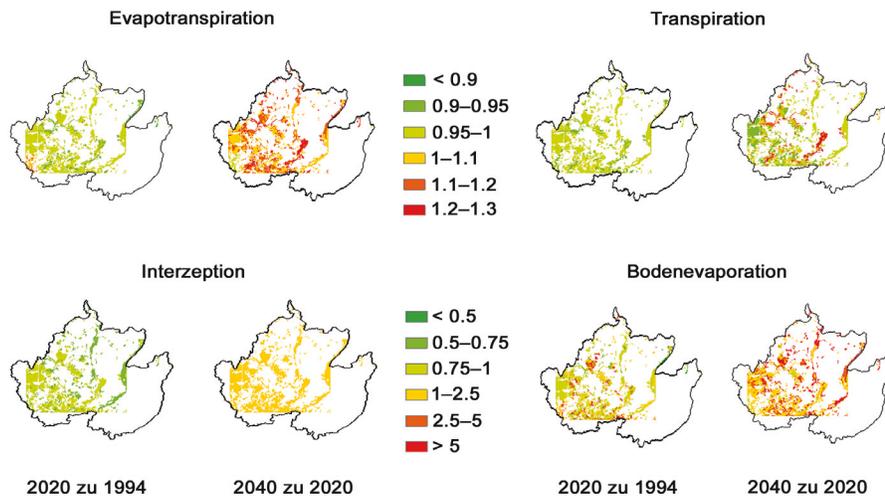
jektionen bzw. Modelle (Ensembles) kombiniert werden. Hinsichtlich regionaler Klimaprojektionen und ihrer Verknüpfung mit Wirkungsmodellen besteht noch erheblicher Forschungsbedarf. Derzeit werden hierfür Klimaprojektionen aus statistischem Downscaling bevorzugt, da sie nicht nachträglich korrigiert werden müssen. Im Folgenden wird eine erste Kombination mit einer Projektion aus einem dynamischen Klimamodell vorgestellt.

### ***Beispiel Uckermark***

Beispielhaft sollen Simulationen von Verdunstungskomponenten für Wald- und Grasland in der Uckermark vorgestellt werden. Die Untersuchungen erfolgten mit dem Modell SVAT-CN (Falge et al. 2005), das im Rahmen des Projekts LandCaRe 2020 (Köstner et al. 2009; Köstner et al. 2010) eingesetzt wurde. Mit dem Entscheidungshilfesystem LandCaRe-DSS können weitere Komponenten des Wasserhaushalts wie der Grundwasserabfluss in Abhängigkeit von heutiger und möglicher zukünftiger Verteilung von Ackerkulturen simuliert werden. Für die vorliegende Untersuchung wurden nur Wald und Grasland betrachtet, da bei diesen Landnutzungen der Einfluss des natürlichen Standorts deutlicher wird. Vereinfachend wurde für Laubwald die Eiche und für Nadelwald die Kiefer angenommen. Saisonale Verschiebungen der Wachstumsperiode im Simulationszeitraum sind durch ein Phänologiemodell berücksichtigt. Landnutzungsverteilung und maximale Blattflächen wurden nicht verändert. Für den Boden lag die Karte der mittelmaßstäbigen Standortkartierung in der räumlichen Auflösung von 100 m zugrunde. Als Klimadaten wurden CLM-Projektionen im 18-km-Gitter für die Emissionsszenarien A1B und B1 herangezogen (vgl. Schaller, S. 37–42; Rockel et al. 2008). Die Simulationen erfolgten für jeweils drei Dekaden um 1994 (1990–1999), 2020 (2016–2025) und 2040 (2036–2045). Da die CLM-Projektionen die Niederschläge überschätzen (vgl. Schaller, S. 37–42), wurden die Simulationen mit korrigierten Niederschlägen durchgeführt (Lindau & Simmer 2010). Die nachträgliche Korrektur von einzelnen Klimaelementen stellt einen weiteren Unsicherheitsfaktor dar.

Zunächst lässt sich festhalten, dass in den Simulationen die absoluten Werte der jährlichen Transpiration für die verschiedenen Landnutzungen zwischen 50 und 320 mm variierten und die der Gesamtverdunstung (Evapotranspiration) zwischen 150 und 450 mm. Die Gesamtverdunstung lag für Kiefernwald am höchsten, gefolgt von Grasland und Eichenwald. Eine hohe Variabilität in der Fläche ist in Abhängigkeit von der Pflanzenart und den Bodenbedingungen vor allem für die Transpiration zu verzeichnen. Sie nimmt im Flächenmittel 75 % der Gesamtverdunstung ein. Dieser Anteil verringert sich bis 2040 im Mittel um 8 %, wobei dies hauptsächlich auf Abnahmen bei Kiefernwald und Grasland zurückzuführen ist.

Für die Darstellung von Simulationsergebnissen unter zukünftigem Klima eignen sich relative Änderungen zwischen zwei Zeiträumen. Die Verdunstungskomponenten zeigten beim Vergleich der Dekaden je nach Standort und Vegetation sowohl Zunahmen als auch Abnahmen. Im ersten Vergleichszeitraum (2020/1994) des A1B-Szenarios überwog eine Abnahme der Evapotranspiration, während diese im



**Abb. 14.** Relative Änderungen zehnjähriger Mittelwerte der Evapotranspiration, Transpiration, Interzeption und Bodenevaporation in der Uckermark von 2020 zu 1994 und 2040 zu 2020 für das Emissionsszenario A1B

zweiten Vergleichszeitraum (2040/2020) anstieg (Abb. 14). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Klimaprojektion für die Dekade um 2040 nicht nur höhere Temperaturen, sondern auch deutlich höhere Niederschläge aufwies als um 2020.

Die Transpiration zeigte nur für die Eichenstandorte zunehmende Tendenzen. Auch die Wasserspeicherkapazität des Bodens hat Einfluss auf die räumlichen Muster. Sie können oft nicht eindeutig interpretiert werden, da die Kombination von Boden- und Pflanzeigenschaften und die zeitlich variierende Überschreitung von Schwellenwerten unterschiedlich wirksam werden. Im Flächenmittel aller Vegetationstypen nahm die Transpiration in beiden Vergleichszeiträumen ab. Dies ist auf geringere Blattleitfähigkeiten unter höherer atmosphärischer  $\text{CO}_2$ -Konzentration und teils auf Bodentrockenheit zurückzuführen. Generell waren Veränderungen unter dem B1-Szenario weniger ausgeprägt.

Auch die anderen Komponenten der Verdunstung zeigen beim Vergleich der Dekaden räumlich unterschiedliche bzw. entgegengerichtete Tendenzen. Im Flächenmittel nimmt vor allem die Interzeption um 2040 wegen der höheren Niederschläge zu. Dies wird am deutlichsten bei der immergrünen Kiefer (34%), gefolgt von Grasland (27%) und Eiche (20%). Die Bodenevaporation hat den niedrigsten Anteil an der Gesamtverdunstung. Sie nimmt bei Eiche und Grasland im Vergleichszeitraum 2020/1994 leicht ab und steigt bei allen Landnutzungen im Zeitraum 2040/2020. Vervielfachungen der Bodenevaporation traten nur bei sehr geringen absoluten Raten auf. Ihr Anteil an der Gesamtverdunstung blieb niedrig.

Grundlage für die Transpirationsergebnisse war die Simulation der Primärproduktion. Die Bruttoprimärproduktion zeigte durchweg einen zunehmenden Trend mit räumlich und zeitlich unterschiedlicher Ausdifferenzierung. Offensichtlich überwog der Einfluss höherer Temperaturen und atmosphärischer  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen

im A1B-Szenario im Vergleich zu einer limitierenden Wasserverfügbarkeit. Das Emissionsszenario B1 hatte auf die Primärproduktion einen weniger positiven Einfluss. In den meisten Fällen war auch die Wassernutzungseffizienz erhöht, die aus dem Quotienten von Bruttoprimärproduktion und Transpiration gebildet wurde. Nur an Eichenstandorten nahm die Wassernutzungseffizienz unter dem A1B-Szenario im Zeitraum 2040/2020 leicht ab. Generell bestätigten die Simulationen experimentelle Ergebnisse, dass unter erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentration Bäume Wasser sparen bzw. die Wassernutzungseffizienz steigt (Leuzinger & Körner 2007).

### ***Schlussfolgerungen zur Unsicherheit von Klimawirkungsanalysen***

Für die Abschätzung von zukünftigen Klimawirkungen ist zunächst ein vertieftes Prozessverständnis erforderlich. Seitens der Klimamodellierung liegen besonders hohe Unsicherheiten in der Projektion von Niederschlägen. Im Vergleich zur Temperatur sind Niederschläge wesentlich schwieriger zu beschreiben, insbesondere auch hinsichtlich der räumlichen Muster. Die Verdunstung spielt eine Schlüsselrolle bei der Kopplung atmosphärischer Prozesse mit der Erdoberfläche und bei der Kopplung mit dem Kohlenstoffhaushalt durch die Vegetation. Hinsichtlich der Landoberfläche bestehen noch große Unsicherheiten in der räumlich-expliziten Beschreibung von Eigenschaften des Bodens und der Vegetation sowie Unterschieden zwischen naturnahen und bewirtschafteten Flächen. Ein wichtiger räumlicher Skalierungsfaktor ist die aktive Oberfläche, zum Beispiel der Blattflächenindex. Hier bestehen Verbesserungsmöglichkeiten durch Fernerkundung, während andere steuernde Größen wie Wurzeltiefen und -dichten schwieriger einzuschätzen sind. Mit zunehmender Bodentrockenheit und bei, durch die steigende CO<sub>2</sub>-Konzentration, angeregter Pflanzenproduktion können sich zukünftig Wurzel-Spross-Verhältnisse zugunsten der unterirdischen Biomasse verschieben. In diesem Zusammenhang sind Kenntnisse über den CO<sub>2</sub>-Düungeffekt unter Freilandbedingungen zu verbessern und auch beim Wasserhaushalt zu berücksichtigen.

Die Simulationen für die Uckermark zeigen, dass Bedarf besteht, die absoluten Wertebereiche von Klimaelementen dynamischer Klimamodelle für die Wirkungsmodellierung besser an Beobachtungsdaten anzupassen. Unsichere, zu hohe Niederschläge können besonders physikalisch gesteuerte Komponenten wie die Interzeptions- und Bodenverdunstung überschätzen. Die Simulation von Dekaden ist für Aussagen zu generellen Trends nicht ausreichend. Dies sollte anhand von 30-jährigen Zeitreihen geschehen. Dennoch zeigen die simulierten Dekaden, dass ein mit steigender Temperatur erhöhter Verdunstungsanspruch nicht notwendigerweise zu erhöhter Verdunstung führt. Besonders der Anteil der Transpiration nahm überwiegend ab. Neben Temperatur und Niederschlag spielen andere Klimaelemente wie Strahlung, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit eine entscheidende Rolle. Für deren Überprüfung stehen jedoch weit weniger langzeitliche und räumliche Daten zur Verfügung. Die Wirkungsmodellierung unter Klimawandel eignet sich derzeit eher zur Untersuchung mittlerer Trends, als dass sie kurzfristige Schwankungen und Extreme aufzeigen könnte.

Die Emissionsszenarien A1B und B1 ergaben deutliche Unterschiede bei der Auswirkung auf die Verdunstung. Dabei waren beim A1B-Szenario entgegengerichtete Trends der Gesamtverdunstung und ihrer einzelnen Komponenten innerhalb der betrachteten Fläche besonders ausgeprägt. Die räumlichen Muster waren von Boden und Landnutzung beeinflusst. Räumliche Bilanzierungen hängen daher sehr stark davon ab, in welchem Maße die heterogenen Eigenschaften der Landoberfläche berücksichtigt werden. Das bedeutet jedoch, dass eine veränderte Landnutzung ein Mittel der Steuerung ist. Simulationen können dazu beitragen, die wirksamsten Schaltstellen und den Grad ihrer Veränderung zu benennen, um zu positiven Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu gelangen. Mit limitierter Bodenwasserverfügbarkeit und zunehmendem CO<sub>2</sub>-Anstieg gewinnt die Wassernutzungseffizienz an Bedeutung. Künftig sollten daher in der Klima- und Wirkungsmodellierung Wasser- und Kohlenstoffhaushalt besser gekoppelt werden. Fortschritte in der Informationstechnologie ermöglichen routinemäßige Simulationen für einzelne Regionen mit mehreren Modellen und Datenkonstellationen. Solche neuen Werkzeuge sollten verstärkt genutzt werden. Sie unterstützen auch die Entwicklung von regionalen Risikokarten für zukünftige Trends bei Wasserhaushalt und Landnutzung.

## Reaktionen von Seeökosystemen auf Umweltveränderungen

*Michael Hupfer, Brigitte Nixdorf, Klement Tockner*

### *Aktuelle Entwicklungen*

Seen sind sensible Indikatoren für Klima- und andere Umweltveränderungen. Aufgrund ihrer topographischen Lage an der tiefsten Stelle in der Landschaft integrieren und akkumulieren sie – teils zeitverzögert – die Veränderungen des ober- und unterirdischen Einzugsgebietes sowie der Atmosphäre. Neben der Dokumentation und Interpretation von Signalen für diese Veränderungen besteht derzeit die vorrangige Herausforderung darin, die Entwicklung von Gewässerökosystemen unter den herrschenden Gegebenheiten der Kulturlandschaft vorherzusagen und entsprechende Vorsorge zur Erhaltung ihrer Funktionsfähigkeit zu treffen. Die dazu nötigen Forschungsansätze reichen von paläolimnologischen Erhebungen über die Interpretation von historischen und rezenten Zeitreihen bis hin zu komplexen dynamischen Modellen, die Prognosen zum Gewässerzustand unter sich rasch ändernden Klima- und Landnutzungsbedingungen ermöglichen.

Wie einleitend zu diesem Kapitel beschrieben, sind Stand- und Fließgewässer in Berlin-Brandenburg sowohl durch klimatische Veränderungen als auch durch menschliche Aktivitäten geprägt, so dass z. B. ein Großteil der Fließgewässer heutzutage künstlichen Ursprungs ist oder sich die Wasserspiegel vieler Seen stark verändert haben (Driescher 2003). Die Rekonstruktion früherer Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen mithilfe im Sediment abgelagerter Diatomeen (Kieselalgen) zeigt, dass Eutrophierungsschübe bereits sehr früh durch die erste Besiedlung, Rodungen, die beginnende landwirtschaftliche Nutzung, die Einleitung von Abwässern sowie die Fischzucht ausgelöst wurden (Schönfelder 1997).

Welche hydrologischen und ökologischen Veränderungen sind mit der jüngsten Klimaentwicklung verbunden? Sinkende Wasserstände und Austrocknung von Gewässern sind ein deutliches Zeichen rezenter Veränderungen. So sind in den letzten 25 Jahren die Wasserspiegel in einigen grundwassergespeisten Seen der Uckermark, in der Grunewaldseenkette oder dem Spreewald um bis zu drei Meter gefallen. Der einsetzende Klimawandel in Nordostdeutschland verstärkt diese Entwicklung und wirkt gemeinsam mit weiteren natürlichen und anthropogenen Einflüssen in sehr komplexer Weise auf die Hydrodynamik und die Ökologie der Gewässer ein (Germer et al. 2011; Kaiser et al. 2011). Dafür spricht auch, dass sich die Wasserspiegel in den letzten 100 Jahren als sehr dynamische Größe erwiesen, bei denen sich hohe und niedrige Stände oft zyklisch abwechselten. In einigen

Regionen wurde in den letzten Jahren sogar eine Zunahme der Grundwasserstände registriert. Die räumlich und zeitlich unterschiedlichen Veränderungen der Grundwasserstände sind das Ergebnis von Fließgewässerbegradigung und -eintiefung, Bergbauaktivitäten, Trinkwasserförderung, Grundwasserabsenkungen, von ober- und unterirdischen Dränagen und insbesondere der Trockenlegung von 95 % aller Moore in Brandenburg.

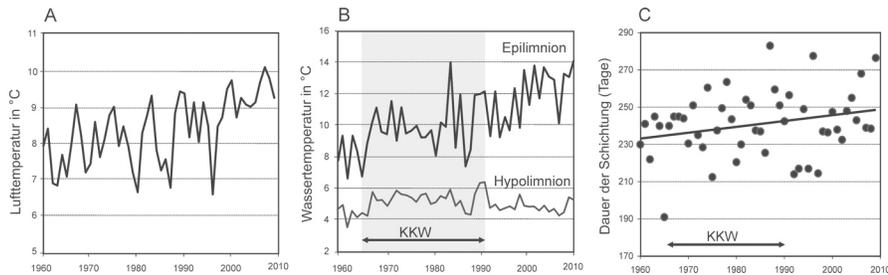
Die klimatischen Veränderungen beeinflussen primär die Temperatur- und Lichtverhältnisse, das Schichtungsverhalten und die Eisbedeckung der Seen, wobei die Gewässer abhängig von der Morphologie unterschiedlich auf veränderte Klimafaktoren reagieren. In tiefen Seen ist die Eisbedeckung aufgrund der höheren Wärmekapazität natürlicherweise kürzer, eisfreie Winter sind daher häufiger. In Flachseen hingegen ist die Eisbedeckung in erster Linie Folge von spezifischen Wetterkonstellationen, während in tiefen Seen die Häufigkeit der Eisbildung durch längerfristige klimatische Trends erklärt werden kann. Langzeitdaten zur Dauer der Eisbedeckung zeigen bei hoher Variabilität zwischen den Jahren bislang keinen statistisch gesicherten Trend, obwohl in den letzten 60 Jahren am Beispiel von acht Seen in Berlin-Brandenburg ein Rückgang der Eisbedeckung von drei bis siebzehn Tagen zu verzeichnen war (Bernhardt 2009).

In den letzten 50 Jahren stiegen die Wassertemperaturen an der Seeoberfläche in der Fokusregion Berlin-Brandenburg um ca. 0,3 K pro Dekade an (Kirillin 2010). Für geschichtete Seen kann ein schwacher Trend zur Verlängerung der sommerlichen Schichtungsdauer registriert werden, wobei insbesondere der Beginn der Schichtung jahreszeitlich früher einsetzt. Am Beispiel des Stechlinsees werden die Entwicklungen der Luft- und Wassertemperaturen im Frühjahr sowie die Schichtungsdauer beispielhaft dargestellt (Abb. 15). Ohne Berücksichtigung des Einflusses des Kernkraftwerks verlängerte sich in den letzten 50 Jahren die Schichtungsdauer signifikant um 0,35 Tage pro Jahr.

Aktuelle Trends zeigen, dass in durchmischten Flachseen wie dem Müggelsee die Häufigkeit und Dauer von sommerlichen Schichtungsphasen zunimmt (Wilhelm & Adrian 2008). Paradox erscheint jedoch, dass trotz Zunahme der Lufttemperatur die mittlere Temperatur eines Sees und insbesondere die Temperatur der bodennahen Wasserschichten abnehmen können. Durch den früheren Beginn der thermischen Schichtung werden die tieferen Wasserschichten von der atmosphärischen Wärmeversorgung abgeschnitten und bleiben somit kühler. Durch die sinkenden Temperaturen im Tiefenwasser und in Sedimentnähe verlangsamen sich gewässerinterne Stoffumsetzungsprozesse. Dieses Phänomen der Temperaturabnahme im Tiefenwasser ist auch für die Seen Brandenburgs nachgewiesen (Bsp. Stechlinsee, Abb. 15). Die ökologischen Reaktionen in Seen werden ganz besonders von der Dauer und Intensität der Winter- und Frühjahrsperioden bestimmt.

Ein weiteres Phänomen in der Region Berlin-Brandenburg ist die Ausbreitung gebietsfremder aquatischer Arten, die von steigenden Temperaturen profitieren. Aktuelle Befunde zeigen, dass toxische Cyanobakterien aus subtropischen Regionen sich bereits erfolgreich etablieren konnten (Wiedner et al. 2008).

Eine der Herausforderungen in der Analyse der Zeitreihen von Seen in der Fokusregion Berlin-Brandenburg ist es jedoch, klimabedingte Trends von zeitgleichen



**Abb. 15.** Entwicklung der Luft- und Wassertemperaturen (Mittelwerte von März bis Juni) für den Stechlinsee seit 1960 (A/B). In der durchmischten Wasserschicht (Epilimnion) steigt die Temperatur, während im Tiefenwasser (Hypolimnion) die Temperatur ab 1990 leicht abfällt (B). Die Dauer der sommerlichen Schichtung nimmt signifikant zu (C). Zwischen 1965 und 1990 wurden die Temperaturverhältnisse im See durch Kühlwasser des Kernkraftwerks (KKW) Rheinsberg beeinflusst (grau hinterlegt)

anderen Veränderungen durch die Belastung mit industriellen und kommunalen Abwässern oder die Landnutzung nach der deutschen Wiedervereinigung zu unterscheiden. Mehr denn je sind ausreichend lange Zeitreihen gefragt, um natürliche Oszillationen, die Dynamik und Schwankungen zwischen den Jahren sowie andere Trends von Klimaeffekten zu identifizieren. Langzeituntersuchungen an Seen stellen hohe Anforderungen an die Qualität der Daten, an eine hinreichende zeitliche und taxonomische Auflösung sowie die Einbeziehung von Stoffeinträgen aus dem Einzugsgebiet. Dringend benötigt wird ein umfangreiches langfristiges Monitoringprogramm. Zugleich stellen die bereits vorhandenen Daten eine vielversprechende und noch nicht ausreichend genutzte Informationsquelle dar.

Die Gewässergüte von Seen in Berlin-Brandenburg wird gegenwärtig hauptsächlich durch die Eutrophierung beeinträchtigt. Durch Industrialisierung und Intensivierung der Landwirtschaft wurde die anthropogen bedingte Eutrophierung ab Mitte des letzten Jahrhunderts auch in der Fokusregion Berlin-Brandenburg zu einem gravierenden Problem, welches die Nutzungen vieler Gewässer erheblich einschränkte. Ab dem Jahr 1991 ist die Nährstoffbelastung in den meisten Seen Berlin-Brandenburgs durch die Reduzierung von Nährstoffeinträgen aus punktuellen Quellen rückläufig. Viele Seen reagieren wegen der langen Wassererneuerungszeit, trophischer Rückkopplungsmechanismen und des hohen internen Nährstoffvorrates aber deutlich verzögert auf die verminderten Einträge (Nixdorf et al. 2009). Für etwa zwei Drittel der Seen Brandenburgs ist daher „unwahrscheinlich“ bzw. „unklar“ (LUA 2007), ob sie gemäß Wasserrahmenrichtlinie bis 2015 das Ziel eines „guten“ ökologischen Zustandes erreichen. Ursache ist die andauernde diffuse Nährstoffbelastung aus den Einzugsgebieten. Hier können stark zeitverzögert frühere Belastungen wirken, deren Eintragspfade bislang schwer zu erfassen sind.

Ein besonderes Güteproblem in urbanen und periurbanen Räumen wie Berlin und dem Umland stellen Arzneimittelrückstände dar, die nicht oder nur teilweise in den Kläranlagen eliminiert werden (Winker 2010). Bedeutsam sind in diesem Zusammenhang Analgetika, Antibiotika, Betablocker, hormonelle Verhütungsmittel,

Psychopharmaka oder Zytostatika. Die zahlreichen Eintragspfade in die aquatische Umwelt, die Vielzahl an Stoffen und Abbauprodukten sowie die sehr stark variierende und die immer noch größtenteils unbekanntes Auswirkungen der Rückstände auf die Flora und Fauna im Wasser sind derzeit Gegenstand intensiver Forschungen.

### ***Welche Zukunft haben die Seen?***

Die aktuelle Klimasituation in Berlin-Brandenburg befindet sich an einem Punkt, an dem viele Seen selbst bei einer moderaten Klimaerwärmung mit einem veränderten Schichtungsregime, kürzeren Eisbedeckungen, niedrigeren bzw. wechselnden Wasserständen und Veränderungen der Biodiversität reagieren werden. Es sind die morphologischen, hydrologischen und trophischen Merkmale der Gewässer sowie die bestehenden und aus der Vergangenheit nachwirkenden Belastungsfaktoren, welche die Reaktion der jeweiligen Seen auf klimatische Veränderungen bestimmen. Wenn die derzeit beobachtete Erwärmung anhält, ist mit folgenden direkten und indirekten Wirkungen auf die Seen zu rechnen:

1. Die Tendenz zu wechselnden oder fallenden Wasserständen wird sich verstärken, was somit die morphologischen, physikalischen, chemischen und biologischen Merkmale eines Sees grundlegend verändern wird (Wantzen et al. 2008). Dazu gehören die Licht- und Temperaturverhältnisse, der Verlust wertvoller ufernaher Lebensräume, eine stärkere Vernetzung mit der terrestrischen Umgebung, eine verminderte Pufferwirkung gegenüber externen Belastungen und mögliche Regimewechsel hin zu Zuständen mit verstärktem Phytoplanktonwachstum. Dadurch verändert sich auch die Funktion des Gewässers als Senke oder Quelle für Nährstoffe und Kohlenstoff in der Landschaft. Für den regionalen Kohlenstoffhaushalt ist insbesondere die Rolle kleiner Gewässer, deren Existenz vom Klimawandel besonders betroffen ist, nicht bekannt, aber vermutlich relevant. Hier fehlen Studien für die Region und Methoden, um lokale Messergebnisse von aquatischen und terrestrischen Ökosystemen auf größere Landschaftsgebiete zu übertragen.
2. Unmittelbare und deutliche Änderungen sind hinsichtlich der physikalischen Struktur der Gewässer zu erwarten (Kirillin 2010). Zeitpunkt, Dauer und Häufigkeit der Schichtung werden besonders deutlich durch den zu erwartenden Anstieg der Temperaturen in den Wintermonaten beeinflusst. Einige bisher durchmischte flachere Seen werden längere Schichtungsperioden aufweisen und sich allmählich zum dimiktischen Mischungstyp (zwei Vollzirkulationen im Jahr) hin entwickeln. Winterliche Erwärmung und abnehmende Eisbedeckung sorgen zudem dafür, dass andere Seen wiederum monomiktisch werden (nur eine Vollzirkulation im Jahr). Durch die jetzt schon erkennbare Tendenz der früher einsetzenden Erwärmung wird sich als positiver Effekt die Badesaison verlängern.
3. Es wird angenommen, dass sich mit dem erwarteten Klimawandel die Eutrophierung verstärkt (Nixdorf et al. 2009), wie es für vergleichbare Gewässer in wärmeren Breitengraden bekannt ist. Die pauschale Einschätzung, dass alle Seen mit einer Zunahme der Eutrophierung und mit einer Verschlechterung des Gü-

tezustandes auf den prognostizierten Klimawandel reagieren, ist allerdings nur bedingt zutreffend. Die Etablierung einer stabileren Schichtung führt dazu, dass die Nährstoffversorgung der euphotischen Zone aus dem Tiefenwasser während der Vegetationsperiode vermindert wird. Keine oder eine kürzere Eisbedeckung bedeuten weniger oder keinen Sauerstoffschwund im Tiefenwasser und damit auch kein Fischsterben im Winter.

4. Die bereits jetzt stattfindende Einwanderung subtropischer Arten wird sich verstärken. Diese können die trophischen Interaktionen verändern und standortangepasste Arten verdrängen. Mit der Erwärmung und anderen Veränderungen ist zudem das Verschwinden von Arten verbunden. Das saisonale Muster im Lebenszyklus von Arten kann sich auch bei moderat veränderten Temperatur- oder Lichtverhältnissen verschieben, insbesondere dann, wenn diese Veränderungen zu „kritischen“ Zeitpunkten zwischen dem Ende des Winters und dem Beginn des Sommers stattfinden. Dadurch können die Phänologie, also die jahreszeitliche Abfolge des Auftretens von Arten und damit die trophischen Interaktionen und damit das eingespielte Gefüge zwischen Nahrungsangebot und Konsumption gravierend verändert werden. Die Analyse von milden und kalten Wintern im Müggelsee ergab, dass durch milde Winter das Auftreten von Cyanobakterien begünstigt wird (Shatwell et al. 2008). Entscheidend ist dabei, dass die Erwärmung die Phytoplanktonentwicklung stärker als die Zooplanktonentwicklung beeinflusst.
5. Der zu erwartende Klimawandel wird nach jetzigem Kenntnisstand den Eintrag von Nährstoffen aus dem terrestrischen Umland erhöhen, weil durch Wasserstandsschwankungen und/oder Starkniederschläge ein pulsartiger Eintrag von Stoffen aus dem Einzugsgebiet erfolgt. Dabei haben nicht nur die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff als eigentliche Auslöser der Eutrophierung Bedeutung, sondern auch Stoffe, die die Nährstoffverfügbarkeit im Wasserkörper beeinflussen (z. B. Sulfat, Calcium, Kohlenstoff).

Anhand dieser Beispiele zeigt sich, dass die Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf den Gewässerzustand im Zusammenwirken mit anderen Einflussfaktoren komplex sind und allgemeingültige Vorhersagen erschweren. Besonders kritisch sind die Übergangsperioden, weil es zu überdurchschnittlichen Reaktionen in den Systemen kommen kann. Das betrifft Veränderungen im trophischen Gefüge durch das Verschwinden oder die Zuwanderung von Arten sowie die pulsartige Mobilisierung von Nährstoffvorräten im Sediment bei veränderten Temperatur- und Sauerstoffbedingungen. Nicht alle erwarteten Änderungen des Klimawandels wirken allerdings für Seeökosysteme negativ im Hinblick auf die anthropogene Nutzung.

### ***Vorsorgender Gewässerschutz***

Besondere Aufmerksamkeit ist der Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts zu widmen. Alle Maßnahmen sollten darauf zielen, die Verweildauer des Wassers in der Landschaft zu erhöhen und zu sichern. Unabhängig von einem erwarteten Klimawandel sind folgende Maßnahmen von hoher Dringlichkeit:

- Revitalisierung und Schutz von Mooren und anderen Feuchtgebieten wie z. B. Flussauen
- Waldumbau (vom Kiefern- zum Misch- und Laubwald)
- Rückbau der Fließgewässerbegradigungen und Schaffung von (Hochwasser-) Retentionsflächen
- Intelligente Rückführung von gereinigten Abwässern in die Landschaft

Ein wichtiges Instrument ist das „Moorschutzprogramm“ in Brandenburg, das den landesweiten Schutz und die Revitalisierung der Moore und anderer Feuchtgebiete vorsieht (Landgraf 2010). Damit können sie in der Landschaft als effizienter Wasserspeicher wirken. Erfolgreiche Moorschutzmaßnahmen führen zu wassergesättigten Bedingungen, wodurch Torfbildung eingeleitet wird und Moore wieder zu bedeutenden Stoffsenken in der Landschaft werden. Als entscheidende Voraussetzung für die Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen erweist sich dabei der Erwerb von betroffenen Flächen, indem auf diesen Flächen nach dem Prinzip „Land für Wasser“ Nutzungen eingeschränkt, verändert oder aufgegeben werden. Ausreichende Wasserbereitstellung für Wiedervernässungsmaßnahmen ist nur durch eine deutliche Verbesserung des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet mit steigenden Grundwasserständen möglich. Von großer praktischer Bedeutung ist die bislang ungeklärte Frage, wie sich vor allem die initiale Phase der Wiedervernässung von Mooren auf die regionale Kohlenstoffbilanz und die Emissionen von klimarelevanten Gasen auswirkt.

Die Umsetzung der Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie zur Erreichung des „guten ökologischen Zustandes“ stellt die wirksamste Anpassungsstrategie hinsichtlich des zu erwartenden Klimawandels dar, weil die Anfälligkeit intakter aquatischer Ökosysteme gegenüber klimabedingten Veränderungen prinzipiell sinkt. Im Sinne eines „Integrierten Gewässermanagements“ setzen solche Maßnahmen sowohl extern im Einzugsgebiet als auch intern bei der Optimierung der Gewässerstruktur an. Erhöhung des Wasserrückhaltes in der Landschaft bedeutet auch, natürliche Retentionsräume für Nährstoffe wieder in Funktion zu setzen.

Zur Verminderung der Eutrophierung steht eine Vielzahl gewässerinterner Maßnahmen zur Verfügung. Diese „Ökotechnologien“ zielen auf die Beeinflussung der gewässerinternen Struktur, sodass bestimmte Funktionen wie etwa die Retention von Nährstoffen im Gewässer besonders wirksam werden und dadurch externe Belastungen teilweise kompensiert werden können. Beispiele für solche Verfahren sind die Ausfällung von Nährstoffen, das Anpflanzen von Makrophyten oder die Nahrungsnetzsteuerung (Biomanipulation). Ihr Einsatz ist besonders dann sinnvoll, wenn mit einem langen Beharrungsvermögen bereits eingeleiteter Maßnahmen im Einzugsgebiet zu rechnen ist. Mit zusätzlichen gewässerinternen Maßnahmen kann sich der gewünschte Zielzustand schon Jahre früher einstellen. Außerdem können einige dieser Verfahren einen „Regimewechsel“ auslösen, der trotz klimabedingter Einflüsse oder fortbestehender Restbelastung zur Selbststabilisierung des gewünschten Zustandes führt. Modernes Seenmanagement sollte daher seeinterne Ökotechnologien in ihrer gesamten Breite als Teil einer Gesamtstrategie zur Bewältigung von Güteproblemen einbeziehen. Die wissenschaftlichen Grundlagen zum

Zusammenspiel von externen und internen Maßnahmen an Seen unter dem Aspekt des Klimawandels sind bisher jedoch unzureichend.

Die Ausarbeitung und Auswahl geeigneter Anpassungsstrategien hinsichtlich des Klimawandels erfordert einen Wissensvorlauf, was die potenziellen regionalen und lokalen Auswirkungen von Klimatelementen und von Wetterextremen auf die aquatischen Ökosysteme betrifft. Eine wissenschaftliche Herausforderung besteht darin, hydrologische Modelle mit Stoffumsetzungsmodellen so zu koppeln, dass sie auf Landschafts- bzw. Einzugsgebietsebene räumlich-explizite Prognosen erlauben und zur Entscheidungsunterstützung herangezogen werden können. Welche Lebensgemeinschaften können wir in Zukunft in unseren Gewässern erwarten und wie wird sich eine rasch ändernde Biodiversität auf unterschiedliche Ökosystemfunktionen auswirken? Wie können die teils konkurrierenden Ziele des Gewässerschutzes, der Klimaanpassung und des Artenschutzes in Einklang gebracht werden? Und wie müssen wir die Gewässer und deren Umland bewirtschaften um eine Sicherung ökosystemarer Dienstleistungen, wie Bereitstellung saubereren Trinkwassers, Erhaltung einer standortgerechten biologischen Vielfalt und Erholungswert einer Landschaft zu erreichen? Diesen zentralen Fragen müssen sich in den kommenden Jahren die Wissenschaft und die Fachbehörden gemeinsam stellen.

# **Anthropogene Einflussfaktoren des Landschaftswasserhaushalts\***

*Gunnar Lischeid*

## ***Einleitung***

Wasser wird in der Fokusregion Berlin-Brandenburg zunehmend zu einem knappen Gut. Langjährig sinkende Grundwasser- und Seewasserspiegel sowie zurückgehende Abflüsse (Einleitung zu diesem Kapitel; LUA 2009) verdeutlichen einen grundlegenden Wandel. Im Folgenden werden die aktuellen anthropogenen Einflussfaktoren des Landschaftswasserhaushalts dargestellt, die zu erwartenden Änderungen skizziert und mögliche Anpassungsstrategien vorgestellt.

## ***Landnutzung***

Nach der Niederschlagsmenge stellt die Evapotranspiration die zweitwichtigste Größe des Landschaftswasserhaushalts der Fokusregion dar. Für den Wasserhaushalt von Kleingewässern spielt weniger die Verdunstung von der Wasseroberfläche als vielmehr die Transpiration der Vegetation im Uferbereich eine entscheidende Rolle. Die Jahresraten der Evapotranspiration dichter Schilfbestände liegen in der Regel deutlich, teils bis zum Dreifachen über der Jahresniederschlagsmenge (Herbst & Kappen 1993; Behrendt et al. 2001; Dannowski & Balla 2004; Müller et al. 2005). Generell weisen Oberflächengewässer und Feuchtgebiete in der Region Brandenburg-Berlin eine negative Wasserbilanz in Höhe von ca. 100 mm/a auf, die durch den Grundwasserzstrom benachbarter Flächen kompensiert wird (Tab. 4).

Auf grundwasserfernen Standorten nimmt die Sickerwasserspende bzw. Grundwasserneubildung von Nadelwald über Laubwald bis zu ackerbaulich oder als Grünland genutzten Flächen zu (Dannowski & Steidl 2000; Fohrer et al. 2001; Schindler et al. 2008). Die Unterschiede können dabei mehr als 100 mm/a betragen und liegen somit im Bereich der mittleren Grundwasserneubildung der Region Berlin-Brandenburg. Bereits eine Erhöhung des Laubwaldanteils zulasten der vorherrschenden

---

\* Eine englische umfangreichere Ausfertigung dieses Textes findet sich in Lischeid, G. & Natkhin, M. (2011): The potential of land use change to mitigate water scarcity in Northeast Germany – a review. *Die Erde* 142 (1/2), im Druck.

**Tabelle 4.** Simulierte Abflusshöhen für verschiedene Landnutzungstypen in Brandenburg und Berlin unter aktuellen klimatischen Verhältnissen (Daten: Dannowski & Steidl 2000)

|                     | Jahressumme<br>[mm] | Summe für das<br>Winterhalbjahr [mm] | Summe für das<br>Sommerhalbjahr [mm] |
|---------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Brachland           | 309                 | 96                                   | 213                                  |
| urbane Fläche       | 244                 | 94                                   | 150                                  |
| Landwirtschaft      | 127                 | 75                                   | 52                                   |
| Wald                | 56                  | 94                                   | -38                                  |
| Oberflächengewässer | -103                | 133                                  | -236                                 |

Nadelbäume hätte spürbare Auswirkungen auf Grund- und Seewasserspiegel (Bolte et al. 2001; Wattenbach et al. 2007; Mey & Pfützner 2008; Natkhin 2010).

Seit Mitte des 18. Jahrhunderts wurden im Bereich der Niederungen verbreitet Entwässerungsmaßnahmen durchgeführt, um eine landwirtschaftliche Produktion zu ermöglichen. Das Fließgewässernetz in Brandenburg ist zum allergrößten Teil künstlich geschaffen oder zumindest massiv anthropogen überprägt worden (Driescher 2003; Blackbourn 2007). Aufgrund der geänderten sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen werden die wasserbaulichen Anlagen heute nur noch in geringem Umfang weiter unterhalten und betrieben (Schleyer 2002).

Bedingt durch die niedrigen Niederschlagsraten, die hohen Evapotranspirationsraten und die überwiegend leichten Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität spielte die landwirtschaftliche Bewässerung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts in Ostdeutschland eine wichtige Rolle. Nach Simon (2009) wurden in der damaligen DDR im Jahr 1989 10,6 % der Landesfläche der DDR bewässert, und zwar zur Hälfte durch Beregnung bzw. durch Staubewässerung in den Niederungen. Für die Klarwasserberegnung wurden im Mittel 75 bis 100 mm/a angesetzt, für die Staubewässerung 180 bis 200 mm/a (Simon 2009). Nach der Wende nahm der Anteil der Bewässerungsflächen sehr schnell wieder ab. Im Jahre 2002 wurden nur noch 18 % der vormaligen Beregnungsflächen weiterhin bewässert (Simon 2009).

### ***Trinkwassergewinnung***

Der auf die Einwohnerzahl bezogene Wasserverbrauch betrug 2007 in Brandenburg 118 l/d, und in Berlin 152 l/d (Statistisches Bundesamt 2009). Wird für die Fokusregion Berlin-Brandenburg eine mittlere Grundwasserneubildungsrate von 86 mm/a (Lahmer & Pfützner 2003) angesetzt, so ergibt sich daraus für Brandenburg eine erforderliche Fläche von 550 m<sup>2</sup> und für Berlin von 643 m<sup>2</sup> pro Einwohner. Bezogen auf die jeweilige Gesamtfläche entspricht dies in Brandenburg 4,3 % der Landesfläche. Die Wasserversorgung der Stadt Berlin benötigt dagegen rein rechnerisch annähernd das Zweieinhalbfache der Landesfläche. Die Wasserversorgung Berlins kann also nur dank massiver Importe, überwiegend in Form von Uferfiltrat aus Spree und Havel, gewährleistet werden.

## ***Bergbau***

Der Bergbau im Lausitzer Revier hat gravierende Auswirkungen auf den Wasserhaushalt großer Teile Brandenburgs und Berlins. Für die Förderung der Braunkohle im Tagebau war bzw. ist eine Absenkung des Grundwasserspiegels um bis zu 70 m erforderlich (Sonntag 2007). Das Maximum der Absenkung wurde 1989/1990 erreicht. Das Wasserdefizit wird mit 7 Mia. m<sup>3</sup> (LMBV 2009) bzw. 13 Mia. m<sup>3</sup> (Sonntag 2007) angegeben, von denen ca. ein Drittel auf die zu flutenden Tagebaurestlöcher und zwei Drittel auf den wieder aufzufüllenden Grundwasserspeicher entfallen. Wird für die Wiederauffüllung durch die natürliche Grundwasserneubildung mit einer mittleren Rate von 86 mm/a (Lahmer & Pfützner 2003) auf der Fläche des Absenkungstrichters gerechnet, ergibt sich unter Vernachlässigung lateraler Grundwasserzu- und -abströme ein Zeitbedarf von mindestens 60 Jahren.

Die über einen Zeitraum von fast 100 Jahren erfolgten Einleitungen von Sumpfungswässern aus den Tagebauen in die Spree haben dort zu einer deutlichen Erhöhung des Abflusses geführt (Sonntag 2007), die sich vor allem in Phasen des Niedrigwasserabflusses deutlich bemerkbar machte. Inzwischen allerdings wird zunehmend Wasser aus den Fließgewässern für die Flutung der Tagebaurestseen benötigt. Im Jahr 1990 wurden im Mittel 3,3 m<sup>3</sup>/s in die Spree eingeleitet, 2000 nur noch 1,3 m<sup>3</sup>/s (Sonntag 2007). Dies hat gravierende Auswirkungen auf die limnischen Ökosysteme (Pusch & Hoffmann 2000). Sinkende Abflüsse in der Spree stellen eine Gefährdung der ausgedehnten Feuchtgebiete im Spreewald dar. Sinkende Grundwasserstände in dieser Region würden außerdem zu einer weiteren Mineralisierung der noch vorhandenen Torfe und somit zur Freisetzung großer Mengen Kohlenstoffs führen (Lorenz et al. 2005).

Für Berlin ist eine Mindestwasserführung nicht nur für die Schifffahrt und aus ökologischen Gründen, sondern auch zur Verdünnung der innerhalb des Stadtgebietes in die Vorfluter eingespeisten gereinigten Abwässer erforderlich. Mit den Oberliegern wurde deshalb eine Mindestwasserführung der Spree am Pegel Große Tränke, bei Erreichen des Stadtgebietes von Berlin, von 8 m<sup>3</sup>/s vertraglich vereinbart. Werden die Verdunstungsverluste im Spreewald (Koch et al. 2009) mit berücksichtigt, bedeutet das, dass während der Vegetationsperiode ein Mindestzufluss von 16 m<sup>3</sup>/s in den Spreewald gewährleistet werden muss. Dies bereitete in den letzten Jahren zunehmend Probleme (Grünwald & Uhlmann 2004). Deshalb ist vorgesehen, in den besonders kritischen Phasen im Sommer den Niedrigwasserabfluss durch die Nutzung der Speicherbecken Lohsa II, Bärwalde und Cottbusser See zu stützen (Koch et al. 2009).

In den trocken gefallen Bereichen des Grundwasserleiters sowie im abgelagerten Kippenmaterial führt der Zutritt von Sauerstoff zur Oxidation der in den Sedimenten enthaltenden Pyrite und Markasite zu Sulfat (Graupner et al. 2007; Sonntag 2007), das bei der anschließenden Flutung in Lösung geht. Es wird deshalb versucht, die Tagebaurestlöcher möglichst schnell mit unkontaminiertem Oberflächenwasser zu füllen, um einen hydrostatischen Gegendruck gegen die lateral zuströmenden, hochgradig belasteten Grundwässer aufzubauen und so eine Versauerung der Tagebaurestseen zu verhindern (Gröschke et al. 2002; Grünwald & Uhlmann 2004).

## ***Prognosen***

Aufgrund der geringen aktuellen Grundwasserneubildungsraten, der hohen Evapotranspirationsraten und der überwiegend sandigen Böden mit geringer Wasserhaltekapazität reagiert der Landschaftswasserhaushalt in der Fokusregion Berlin-Brandenburg wesentlich empfindlicher auf Änderungen der natürlichen und anthropogenen Rahmenbedingungen als in anderen Regionen Deutschlands. Umso mehr interessiert die Frage, welche Handlungsoptionen zur Verfügung stehen. Im Mittelpunkt der allgemeinen Diskussion steht der Klimawandel. Hierzu liegen inzwischen zahlreiche Studien vor (Suckow et al. 2002; Gerstengarbe et al. 2003; Wechsung 2005; Spekat et al. 2007; Jacob et al. 2008). Dagegen fällt es deutlich schwerer, die zukünftige Entwicklung etwa der sozio-ökonomischen Randbedingungen abzuschätzen. Nichtsdestotrotz wird der Nutzungsdruck auf die Landschaft vermutlich weiterhin hoch bleiben, sodass nicht mit gravierenden Änderungen der Landnutzung zu rechnen ist.

Generell stimmen die verschiedenen regionalen Klimamodelle für die Fokusregion Berlin-Brandenburg hinsichtlich eines deutlichen Temperaturanstiegs innerhalb der nächsten 50 bis 100 Jahre überein. Bei den Niederschlägen wird tendenziell eine Abnahme der Sommer- und eine Zunahme der Winterniederschläge erwartet. Dies führt dazu, dass die potenzielle sommerliche Evapotranspiration ansteigt und generell mit einer Verringerung der Abflussbildung bzw. Grundwasserneubildung zu rechnen ist (Suckow et al. 2002; Gerstengarbe et al. 2003; Wechsung 2005; Spekat et al. 2007; Jacob et al. 2008). Die Auswirkungen auf landwirtschaftliche Erträge werden jedoch für die nächsten Jahrzehnte als gering eingeschätzt. Die Auswirkungen der abnehmenden Wasserverfügbarkeit werden demnach durch den Temperaturanstieg und die Düngungswirkung höherer CO<sub>2</sub>-Gehalte in der Atmosphäre weitgehend kompensiert (Gerstengarbe et al. 2003; Wechsung et al. 2008). Dabei wurden jedoch weder der zu erwartende züchterische Fortschritt noch Verbesserungen in der Anbautechnik, in der Düngung oder im Pflanzenschutz berücksichtigt. Außerdem wurde keine Zunahme der Bewässerung vorausgesetzt.

Für Südbrandenburg fällt der erwartete Rückgang von Abfluss- und Grundwasserneubildung zeitlich mit dem erhöhten Wasserbedarf zur Flutung der Tagebaurestlöcher in der Lausitz zusammen. Die damit verbundene Ausweitung der Wasserflächen führt wiederum zu einer verstärkten Verdunstung. In der Modellstudie von Koch et al. (2009) würde ab 2020 im statistischen Mittel in 20 von 100 Jahren die Spree trockenfallen. Diskutiert werden deshalb Überleitungen aus der Elbe oder der Oder. Bei der Oderwasserüberleitung wären Aspekte der Wasserbeschaffenheit zu beachten, gegen die Elbewasserüberleitung spricht neben den sehr hohen Kosten auch die dort zunehmend problematischer werdende Niedrigwasserführung.

## ***Anpassungsmaßnahmen***

Der prognostizierte Klimawandel wird nach dem heutigen Kenntnisstand den Wassermangel in der Fokusregion Berlin-Brandenburg weiter verschärfen. Selbst bei ei-

ner sofortigen und vollständigen Reduktion der Emission aller Treibhausgase wäre aufgrund der Reaktionsträgheit des Klimasystems erst in einigen Jahrzehnten eine spürbare Entlastung zu erzielen.

Angesichts der sich mutmaßlich weiter zuspitzenden Situation des Landschaftswasserhaushalts muss dem Rückhalt des Wassers in der Landschaft wieder Vorrang gegenüber der immer noch weitgehend praktizierten schnellstmöglichen Abführung des Wassers aus der Landschaft eingeräumt werden. Eine Schließung der Rohrdrainagen und Verfüllung der Entwässerungsgräben hätte allerdings zur Folge, dass diese Flächen nicht mehr in der üblichen Weise bewirtschaftet werden könnten. Hier wäre zu überlegen, wiedervernässte Flächen alternativ als Paludikulturen zu nutzen, beispielsweise durch Anbau von Schilf, Weiden-Erlen-Gebüsch oder Pappeln zur stofflichen und energetischen Verwertung (Schäfer 2005; Wichtmann & Schäfer 2007; Tanneberger et al. 2008).

Jedoch ist die Evapotranspiration von diesen Flächen sehr hoch. Die Erhaltung bzw. Wiedervernässung eines Feuchtgebiets ginge dann zulasten der Unterlieger. In vielen Fällen wäre es deshalb sinnvoller, die vorhandenen Anlagen in den Niederungen wieder für eine aktive Steuerung des Wasserhaushalts, d. h. Entwässerung im Frühjahr und Staubewässerung im Sommer, zu nutzen. Somit wäre eine höhere Ertragssicherheit zu erreichen. Auf grundwasserfernen Standorten wird voraussichtlich in Zukunft die Notwendigkeit zur Bewässerung steigen. Bei der heute in Brandenburg verwendeten Beregnungstechnik sind allerdings die Verluste aus Boden- und Interzeptionsverdunstung noch recht hoch (Lüttger 2001). Eine optimierte Ausbringungstechnik, z. B. als Tröpfchenbewässerung, könnte hier deutliche Einsparungen bringen. Allerdings rentieren sich solche Anlagen unter den zurzeit herrschenden klimatischen Bedingungen und bei den aktuellen Produkt- und Wasserpreisen nicht.

Zumindest im Umland Berlins könnten zudem noch große Wasserreserven mobilisiert werden. Die dort anfallenden Abwassermengen entsprechen einem Mehrfachen der natürlichen Grundwasserneubildung des Stadtgebiets. Würde gereinigtes Abwasser zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen oder zur Stützung des Wasserhaushalts von Feuchtgebieten verwendet, könnten dadurch gleichzeitig auch noch die darin enthaltenen restlichen Nährstoffe genutzt und organische Schadstoffe im biologisch aktiven Oberboden abgebaut werden. Ein Teil dieses Wassers würde durch Evapotranspiration in die Atmosphäre abgegeben werden, der Rest aber, so wie es heute ohnehin der Fall ist, würde als Grundwasserzustrom dem Abfluss in den Vorflutern zugutekommen.

Die angestrebte Umwandlung der von Kiefern dominierten Nadelwälder in Laub- oder Laubmischwälder würde nicht nur das Waldbrand-, das Kalamitäts- und das wirtschaftliche Risiko verringern und die Biodiversität erhöhen, sondern auch die Evapotranspirationsraten verringern. Allerdings kann der Waldumbau aus Kostengründen nur sukzessiv durch Ersetzen der jeweils hiebreifen Nadelwaldbestände vorgenommen werden und würde einen Zeitraum von ca. 100 Jahren erfordern. Dem wäre die Geschwindigkeit des Klimawandels entgegenzusetzen (Natkin 2010). Eine deutlichere Reduktion der Evapotranspiration wäre allerdings z. B. durch ackerbauliche Nutzung der heute noch bewaldeten Flächen zu erreichen, ließe sich aber politisch kaum im größeren Maßstab durchsetzen.

In Einzelfällen sind Wasserüberleitungen aus Elbe oder Oder und die Nutzung großer Speicher zum Rückhalt des Wassers in den Wintermonaten zu erwägen. Allerdings ist bei allen Maßnahmen, die auf die Erhaltung oder Neuanlage von Stillgewässern und Feuchtgebieten abzielen, die damit gesteigerte Evapotranspiration zu berücksichtigen. Ein gezieltes Trockenfallenlassen einzelner Gewässer würde langfristig dem Zufluss in andere, unterhalb gelegene Gewässer und damit deren Erhaltung zugutekommen.

Bei verringerter Grundwasserneubildung und lokal eventuell zusätzlich erhöhter Grundwasserförderung sinkt der hydrostatische Druck der oberen Grundwasserstockwerke, sodass örtlich saline Tiefenwässer bis in die oberen Grundwasserstockwerke aufsteigen können (Grube et al. 2000; Hannappel et al. 2007). Somit werden die Rahmenbedingungen für die Trinkwasserversorgung und für die Bewässerung quantitativ und qualitativ in Zukunft nicht nur für die Nutzung von Uferfiltrat aus Oberflächengewässern, sondern auch für die Förderung aus tiefen Grundwasserbrunnen voraussichtlich ungünstiger werden.

# Wasserhaushaltliche und wasserwirtschaftliche Bilanzen

Uwe Grünewald

## Einleitung

Im Folgenden wird die Relevanz der quantitativen Beschreibung des Wasserkreislaufes, der Wasserhaushaltsbilanz, und wasserwirtschaftlicher Bilanzen für die Fokusregion aufgezeigt. Diese sind die Grundlage dafür, notwendige Anforderungen an wasserwirtschaftliche Planungen zu formulieren.

In ihrer allgemeinen Form stellt sich eine wasserhaushaltliche Bilanz für eine bestimmte Fläche bzw. einen Raumausschnitt und einen bestimmten Zeitausschnitt im Zusammenwirken der Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag ( $P$  von *precipitation*), Verdunstung ( $ET$  von *evapotranspiration*), Abfluss ( $R$  von *runoff*) und Speicheränderung ( $\Delta S$  von *storage*) dar zu

$$P - ET - R - \Delta S = 0. \quad (1.1)$$

Die Raum- und Zeitbezogenheit ist unbedingt erforderlich. Für langjährige Mittelwerte (Querstrich) gilt

$$\bar{P} = \bar{ET} + \bar{R}. \quad (1.2)$$

Für Zeitabschnitte von wenigen Jahren oder Einzeljahren kann die Wasserspeicherung  $S$  nicht vernachlässigt werden, sodass für Flusseinzugsgebiete die allgemeine Form der Wasserhaushaltsgleichung (1.1) aufzustellen ist. Flusseinzugsgebiete werden nach DIN 4049 verstanden als ein „in Horizontalprojektion gemessenes Gebiet, aus dem das Wasser einem bestimmten Ort zufließt“.

Gemäß dem *Hydrologischen Atlas von Deutschland* (HAD 2003) ergibt sich die wasserhaushaltliche Bilanz für die Gesamtfläche Deutschlands ( $A_E = 357.020 \text{ km}^2$ ) für die Jahresreihe 1961 bis 1990 zu

$$\overline{P_{\text{kor}}}(859) = \bar{R}(327) + \bar{ET}(532)\text{mm/a}, \quad (1.3)$$

wobei  $\overline{P_{\text{kor}}}$  die langjährige mittlere korrigierte Niederschlagsjahressumme darstellt.

Für die Fläche der Fokusregion Berlin-Brandenburg ( $A_E = 30.370 \text{ km}^2$ ) wurde gemäß LUA (2002) für die Jahresreihe 1961 bis 1990 folgende wasserhaushaltliche Bilanz ermittelt:

$$\overline{P_{\text{kor}}}(617) = \bar{R}(109) + \bar{ET}(508)\text{mm/a}. \quad (1.4)$$

Bei wasserwirtschaftlichen Bilanzen geht es über die Gegenüberstellungen der vorgenannten hydrologischen Größen hinaus darum, aus der Gegenüberstellung des natürlich vorhandenen Wasserdargebotes zu den bereits getätigten, unmittelbar beabsichtigten oder langfristig geplanten Nutzungen die (noch verbleibende) Verfügbarkeit des (Oberflächen-)Wassers für die verschiedensten Nutzer zu ermitteln.

In der einfachsten Form einer wasserwirtschaftlichen Bilanz, der Summenbilanz, wird an einem Bilanzprofil (z. B. Mündung eines Fließgewässers) das natürliche Wasserdargebot der Summe aller Nutzungsverluste aus Nutzungen am betrachteten Fließgewässer bzw. im betrachteten Fließgewässereinzugsgebiet gegenübergestellt:

|                            |   |                             |
|----------------------------|---|-----------------------------|
| Natürliches Wasserdargebot | + | Mio. m <sup>3</sup> /Monat  |
| Summe der Nutzungsverluste | – | Mio. m <sup>3</sup> /Monat  |
| <b>Bilanz am Profil</b>    | ± | Mio. m <sup>3</sup> /Monat. |

Aufgegliedert in die differenzierten Entnahmen und Rückleitungssummen sowie die Summe von Überleitungen zwischen Einzugsgebieten und Speichereinflüssen aus dem regulierten Dargebot erweitert sich das obige Rechenschema der Summenbilanz folgendermaßen:

|   |   |                             |
|---|---|-----------------------------|
| Natürliches Dargebot des Bilanzgebietes | + | Mio. m <sup>3</sup> /Monat  |
| Summe Ableitungen aus dem Bilanzgebiet  | – | Mio. m <sup>3</sup> /Monat  |
| Summe Zuleitungen in das Bilanzgebiet   | + | Mio. m <sup>3</sup> /Monat  |
| Summe Speichereinfluss im Bilanzgebiet  | ± | Mio. m <sup>3</sup> /Monat  |
| Summe Entnahmen im Bilanzgebiet         | – | Mio. m <sup>3</sup> /Monat  |
| Summe Rückleitungen im Bilanzgebiet     | + | Mio. m <sup>3</sup> /Monat  |
| <b>Bilanzsaldo</b>                      | ± | Mio. m <sup>3</sup> /Monat. |

Wird dieses Saldo dem aus ökologischen Gründen erforderlichen Mindestabfluss gegenübergestellt, ergibt sich das noch verfügbare Dargebot an diesem Bilanzprofil bzw. für dieses Flusseinzugsgebiet:

|                                  |   |                             |
|----------------------------------|---|-----------------------------|
| Mindestabfluss                   | – | Mio. m <sup>3</sup> /Monat  |
| <b>noch verfügbares Dargebot</b> | ± | Mio. m <sup>3</sup> /Monat. |

### ***Wasserwirtschaftliche und -haushaltliche Bilanzen für die Fokusregion Berlin-Brandenburg***

Solche „wasserwirtschaftlichen Bilanzen“ wurden in den letzten Jahren zu leistungsfähigen detaillierten Verfahren der integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung für große Flussgebiete wie z. B. das der Elbe (Grünwald 2001; Loucks & van Beek 2005), aber auch für die sächsisch-brandenburgischen wasserwirtschaftlichen Problemregionen der Lausitz in den Flusseinzugsgebieten von Spree und Schwarzer Elster entwickelt.

Dazu ist es erforderlich, die gesamten Wasservolumina zu erfassen, die sich in einem Gebiet (stochastisch) bilden, die ihm aber auch ober- und unterirdisch zufließen oder durch (deterministische) Wasserüberleitungen beispielsweise in Form von Fremdwasserüberleitungen oder Kanälen zu- bzw. abgeführt werden.

Die wasserwirtschaftliche Summenbilanz des Spreeabschnittes zwischen dem Pegel Lieske unterhalb der Talsperre Bautzen und dem Pegel Leibsch unterhalb des Spreewaldes lässt sich gemäß Tabelle 5 erstellen.

**Tabelle 5.** Wasserwirtschaftliche Summenbilanz für die Spree zwischen den Pegeln Lieske und Leibsch (Quelle: LUA 1993)

| Bilanzgröße [m <sup>3</sup> /s]                           | Bilanzjahr  |             |              |
|---|-------------|-------------|--------------|
|   | 1989        | 2000        | 2010         |
| Bilanzabfluss oberes Spreegebiet                          | 2,35        | 3,10        | 3,10         |
| Sümpfungswasseraufkommen                                  | 31,80       | 17,00       | 14,00        |
| Eigendargebot   | 1,00        | 1,35        | 1,75         |
| Speicherzufluss<br>(Talsperre Spremberg)                  | 0,75        | 2,00        | 2,00         |
| Nutzungsverluste insgesamt<br>(Industrie, Energie etc.)   | 14,30       | -11,90      | -11,70       |
| Infiltrationsverluste Bergbaugbiet                        | -8,00       | -6,00       | -4,50        |
| Verdunstungsverluste im Spreewald                         | -5,00       | -5,00       | -5,00        |
| <b>Bilanzsaldo Pegel Leibsch</b>                          | <b>8,60</b> | <b>0,55</b> | <b>-0,35</b> |
| aus ökologischen Gründen<br>erforderlicher Mindestabfluss | 4,00        | 4,00        | 4,00         |

Bei einem angenommenen Rückgang der Braunkohleförderung geht das Sümpfungswasseraufkommen (Wasser aus Entwässerung eines Bergwerks/Grundwasserabsenkung) innerhalb dieses Spreeabschnitts um mehr als die Hälfte zurück. Das Eigendargebot des „Zwischeneinzugsgebietes“ (der Spree) steigt wegen des langsamen Schrumpfens des Grundwasserabsenkungstrichters nur gering. Die Nutzungsverluste nehmen ebenso wie die bergbaubedingten Infiltrationsverluste nur langsam ab. Im Jahre 2000 treten am Pegel Leibsch gegenüber dem Trockenjahr 1989 Werte unter 1 m<sup>3</sup>/s auf und im Jahre 2010 sogar ein Negativwert als Bilanzsaldo. Bisher wurde zur Sicherung der Wasserversorgung von Berlin von den Wasserbehörden immer ein Mindestabfluss von 8 m<sup>3</sup>/s am Pegel Leibsch gefordert. Aber sogar der bisher angenommene landschaftsnotwendige Kleinstabfluss bzw. die aus ökologischen Gründen erforderliche Mindestwasserführung von 4 m<sup>3</sup>/s unterhalb des Spreewaldes ist nicht erfüllt.

Die Notwendigkeit der Schaffung zusätzlicher Ausgleichsmaßnahmen liegt auf der Hand. Der Umfang der Maßnahmen ergibt sich z. B. nach Koch et al. (2005) aus Wasserbewirtschaftungsszenarien auf Basis modellgestützter wasserwirtschaftlicher Bilanzierungen, bei denen nach dem Monte-Carlo-Prinzip – also durch eine Vielzahl von Zufallsexperimenten – stochastisch simulierte Dargebotsgrößen dem instationären Wasserbedarf gegenübergestellt werden. Die Szenarien basieren auf umfangreichen detaillierten wasserwirtschaftlichen Bilanzierungen und beziehen neben dem Bedarf unterschiedlichster Wassernutzer auch veränderte globale und regionale Rahmen- und Randbedingungen ein.

Darauf aufbauend liegen umfangreiche weitere Problem- und Konfliktanalysen zur länderübergreifenden Wasserbewirtschaftung im Spree-Havel-Gebiet im Kon-

text des globalen Wandels (z. B. Grünewald 2005; Koch et al. 2006), zur Verknüpfung von Wasserbewirtschaftungs- und Wassersteuerungsmodellen in der Fokusregion (z. B. Grünewald 2001) und zur Ableitung von Wassermanagementoptionen für den Erhalt des Spreewaldes unter den Bedingungen des globalen Wandels (z. B. Dietrich et al. 2007) vor.

Für wasserwirtschaftliche Betrachtungen muss daher auch in Erweiterung von Gleichung 1.3 für die Fläche Deutschlands mit einem zusätzlichen langjährigen „Zufluss von Oberliegern“ in Höhe von 199 mm/a und für die Fokusregion Berlin-Brandenburg (Gleichung 1.4) mit einem solchen von 344 mm/a gerechnet werden.

Sinnvoll wäre es, solche Wasser(-haushalts- und -wirtschafts-)Bilanzen flusseinzugsgebietsbezogen vorzunehmen, da dies eine genauere Berechnung ermöglichen würde. Tabelle 6 enthält entsprechende Angaben für die Einzugsgebiete von Donau, Rhein und Elbe sowie für die Flächen Deutschlands und Berlin-Brandenburgs.

**Tabelle 6.** Einzugsgebietsflächen und Abflussbilanzhöhen für ausgewählte Flusseinzugsgebiete Deutschlands für die Zeitreihe 1961–1990 sowie für die politischen Einheiten Deutschland und die Fokusregion Berlin-Brandenburg (Quelle: HAD 2003)

| Strom- oder Küstengebiet | Flächengröße Ausland [km <sup>2</sup> ] | Flächengröße Bundesgebiet [km <sup>2</sup> ] | Gesamt [km <sup>2</sup> ] | Zufluss [mm/a] | Abfluss [mm/a] | Gesamt [mm/a] |
|--------------------------|---|--|---------------------------|----------------|----------------|---------------|
| Donau                    | 20.880                                  | 56.270                                       | 77.150                    | 1.019          | 434            | 593           |
| Rhein                    | 57.154                                  | 102.348                                      | 159.500                   | 695            | 348            | 473           |
| Elbe                     | 51.145                                  | 97.455                                       | 148.600                   | 194            | 189            | 191           |
| Deutschland              |   | 357.020                                      |                           | 199            | 296            | 495           |
| Berlin-Brandenburg       |   | 30.368                                       |                           | 344            | 109            | 453           |

Wie die Tabelle 6 darstellt erfolgen die größten ausländischen Zuflüsse nach Deutschland über den Rhein. Während die ausländischen Zuflüsse des Rheins 43 % und der Donau 30 % des Gesamtzuflusses betragen, sind es bei der Elbe nur 14 %. Auch die Abflüsse liegen bei Rhein und Donau am höchsten, was jedoch durch die Flächenunterschiede relativiert wird, sodass die Gesamtwerte für die Elbe am geringsten sind.

Daraus wird gefolgert, dass die Fokusregion Berlin-Brandenburg durch ihre naturbedingte Lage im vergleichsweise „wasserarmen“ Einzugsgebiet der Elbe besonderer wasserwirtschaftlicher Aufmerksamkeit und Einflussnahmen bedarf (Grünewald 2010).

In LUA (2002) wird der Versuch unternommen, in die langjährige mittlere Wasserhaushaltsbilanz der Betrachtungsregion die Einflussnahmen durch menschliche Nutzungen einzubinden (Abb. 16).

Als Zufluss von Oberliegern werden für Berlin-Brandenburg 344 mm/a angegeben. Somit entstammen die 453 mm/a, welche die Betrachtungsregion im langjährigen Mittel als Abfluss verlassen, nur etwa zu einem Viertel der Abflussbildung auf den Landesterritorien Brandenburgs und Berlins. Auch daraus wird ersichtlich, dass die Region ein deutlich unter dem Durchschnitt liegendes Wasserdargebot aufweist.

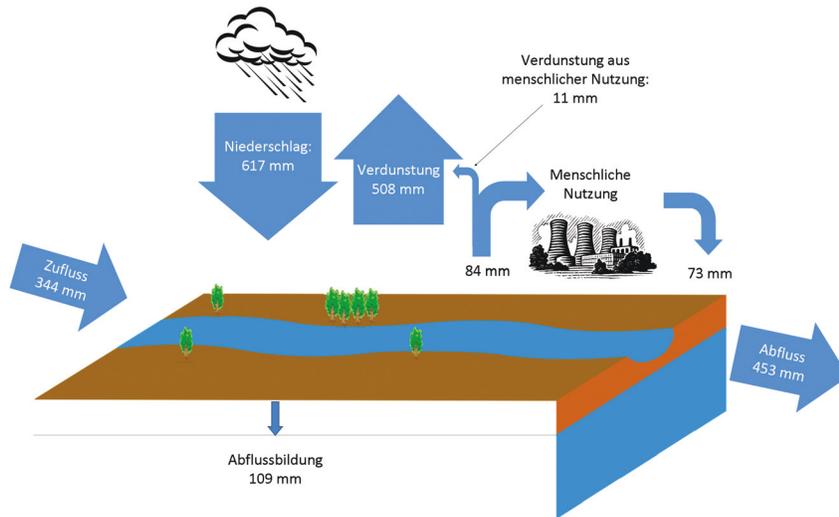


Abb. 16. Wasser(-wirtschaftliche) Bilanz Berlin-Brandenburg, Stand 2000 (Quelle: LUA 2002)

Um die wasserhaushaltliche bzw. wasserwirtschaftliche Situation der beiden Bundesländer besser einordnen zu können, wird ein bundesländerbezogener Vergleich vorgenommen (Tab. 7).

Tabelle 7. Abflussbildung in den deutschen Bundesländern für die Zeitreihe 1961–1990 (Quelle: HAD 2003)

| Bundesland                    | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Einwohner [in 1.000] | Abfluss [m <sup>3</sup> /s] | Abflusshöhe [mm/a] |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|
| Baden-Württemberg             | 35.751                    | 10.524               | 535                         | 472                |
| Bayern                        | 70.548                    | 12.230               | 855                         | 382                |
| Berlin                        | 891                       | 3.382                | 5                           | 182                |
| Brandenburg                   | 29.477                    | 2.602                | 82                          | 88                 |
| Bremen                        | 404                       | 660                  | 4                           | 289                |
| Hamburg                       | 755                       | 1.715                | 8                           | 315                |
| Hessen                        | 21.114                    | 6.068                | 205                         | 308                |
| Mecklenburg-Vorpommern        | 23.171                    | 1.776                | 97                          | 132                |
| Niedersachsen                 | 47.614                    | 7.926                | 404                         | 268                |
| Nordrhein-Westfalen           | 34.080                    | 18.010               | 438                         | 405                |
| Rheinland-Pfalz               | 19.847                    | 4.035                | 202                         | 321                |
| Saarland                      | 2.570                     | 1.069                | 33                          | 410                |
| Sachsen                       | 18.413                    | 4.426                | 134                         | 229                |
| Sachsen-Anhalt                | 20.447                    | 2.615                | 60                          | 93                 |
| Schleswig-Holstein            | 15.764                    | 2.790                | 165                         | 330                |
| Thüringen                     | 16.172                    | 2.431                | 118                         | 230                |
| Deutschland                   | 357.020                   | 82.260               | 3.345                       | 296                |
| Deutschland mit ausl. Zustrom | 357.020                   | 82.260               | 5.955                       | 526                |

Danach gilt: Das wasserreichste Bundesland ist Bayern mit einem Abfluss von 855 m<sup>3</sup>/s. Die große Fläche des Bundeslandes und der hohe Wert für die Abflussbildung in Höhe von 382 mm/a sind entscheidende Faktoren für diesen Wasserreichtum. Aufgrund seiner geringen Fläche weist das Saarland mit 33 m<sup>3</sup>/s den geringsten Abflusswert der Flächenländer auf. Bezogen auf die Abflussbildung steht das Land mit 410 mm/a jedoch an zweiter Stelle hinter Baden-Württemberg, das mit 472 mm/a den höchsten Wert aller Bundesländer erreicht. Mit Werten für die Abflussbildung in Höhe von 88 mm/a liegt das Land Brandenburg deutlich unter dem für das Bundesgebiet ausgewiesenen Wert von 296 mm/a. Der höhere Wert der Abflusshöhe für Berlin erklärt sich aus dem vergrößerten Anteil urbanisierter bzw. versiegelter Flächen mit großer Abflussbereitschaft.

Dieser Vergleich der Bundesländer zeigt, dass es sich bei der Fokusregion Berlin-Brandenburg naturbedingt um eine besondere wasserhaushaltliche und in einigen Teilregionen zudem wasserwirtschaftliche Problemregion handelt. Die durchschnittlichen Niederschläge liegen hier mit 550 bis 650 mm/a im Vergleich zu den westlichen Bundesländern um rund 200 mm/a niedriger. „Überwiegend sandige Böden mit geringer Wasserhaltekapazität lassen das Wasser zudem rasch in die Tiefe versickern“ (LUA 2002, S. 46). Die besonders geringen mittleren winterlichen Niederschlagssummen von unter 200 mm bzw. in vielen Teilregionen sogar von unter 150 mm in den Monaten November bis April sind ungünstige natürliche Voraussetzungen zur winterlichen Auffüllung des Bodenwasserspeichers und des Grundwassers in dieser Region.

Demgegenüber stehen hohe Werte des Verdunstungsanspruchs, der sich z. B. in der potenziellen Verdunstung (Gras-Referenzverdunstung) von 600 bis 650 mm/a ausdrückt, was insgesamt zu fast durchweg negativen Werten der mittleren jährlichen klimatischen Wasserbilanz in Berlin-Brandenburg führt. Bemerkenswert ist auch die innerjährliche Verteilung der klimatischen Wasserbilanz als Differenz von (korrigierter) Niederschlagshöhe und der Höhe der potenziellen Verdunstung: „Der gesamte Tieflandbereich von Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Sachsen weist negative Sommerhalbjahresbilanzen auf, wobei die Durchschnittswerte –100 mm teilweise erheblich unterschreiten. Die größten Defizite im Sommerhalbjahr nehmen Werte kleiner –300 mm an“ (HAD 2003, Erläuterungen zur Karte 2.14).

### ***Anforderungen an die wasserwirtschaftliche Planung***

Selbst unter Berücksichtigung von „grenzüberschreitenden Fremdzulüssen“ bedarf die Fokusregion Berlin-Brandenburg im vergleichsweise wasserarmen Einzugsgebiet der Elbe besonderer wasserwirtschaftlicher Aufmerksamkeit und Einflussnahme. Daraus resultiert die Notwendigkeit zu einer modellgestützten Wasserbewirtschaftung (Grünewald 1978), zur Mehrfachnutzung des verfügbaren Wassers (Dyck et al. 1991), zum Bewässerungslandbau (Simon 2009) sowie zum Bau von Talsperren und Wasserüberleitungen (IKSE 2005) im Elbeeinzugsgebiet.

Ferner leiten sich daraus besondere Anforderungen an die wasserwirtschaftliche Planung und Bewirtschaftung wie auch an die Bilanzierung im Einzugsgebiet der

Elbe und in der Fokusregion Berlin-Brandenburg ab. Diese Maßnahmen sind unter den sich ändernden Bedingungen des globalen und regionalen Wandels differenziert und detailliert anzupassen.

Vor diesem Hintergrund wurden umfangreiche Untersuchungen etwa zur Wasserbewirtschaftung im Gesamteinzugsgebiet der Elbe (Koch et al. 2007) sowie zu Anpassungsstrategien für die Wasserbewirtschaftung bei globalem Wandel im Einzugsgebiet der Spree (Koch et al. 2009) und des Spreewaldes (Dietrich et al. 2007) durchgeführt. Analog zu Lischeid lässt sich schlussfolgern, dass „der Landschaftswasserhaushalt in der Region Berlin-Brandenburg wesentlich empfindlicher auf Änderungen der natürlichen und anthropogenen Rahmenbedingungen reagiert als in anderen Regionen Deutschlands“ (Lischeid 2010: 41).

Umfangreich hat sich daher der Beirat für Nachhaltige Entwicklung und Ressourcenschutz des Landes Brandenburg (NHB 2009) mit der „aktuellen Situation der Wasserwirtschaft in Brandenburg“ befasst und „Maßnahmenvorschläge für ein nachhaltiges Wassermanagement in Brandenburg“ entwickelt. Der Beirat geht davon aus, dass die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) darauf ausgerichtet ist, die Prinzipien der Nachhaltigkeit über das spezifische Ziel der Erhaltung und Verbesserung der aquatischen Umwelt in die Länder der europäischen Gemeinschaft hineinzutragen. Dies erfordert letztlich eine neue Qualität des vernetzten Denkens und Handelns im Flussgebietsmaßstab, insbesondere durch eine stärkere Zusammenführung von Land- und Wasserbewirtschaftung, eine verbesserte Verknüpfung von Flächennutzung und Raumplanung mit der Wasserbewirtschaftung sowie die Einbindung des Wasserbedarfsmanagements.

Die demnach zu realisierenden Maßnahmen fallen unter die folgenden Hauptpunkte:

- Kooperation und Kommunikation zwischen den Akteuren der Gewässerunterhaltung verbessern,
- Planungs- und Richtlinienkompetenz des Landes gezielter ausschöpfen,
- Finanzinstrumente stärker an den Zielen der EU-WRRL ausrichten,
- Forschungskapazitäten besser nutzen,
- Rechtsrahmen anpassen.

Die Liste der empfohlenen Einzelmaßnahmen ist lang. Sie reicht von:

- „Kommunale Aufgabenträger, Unterhaltungsverbände, Grundstücks- und Gewässernutzer sowie Umweltverbände müssen bei der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie enger zusammenarbeiten. Ziele: Akteure informieren, Ausführende anleiten und qualifizieren, Beteiligung verbessern, Subsidiarität praktizieren/ Bottom-up-Ansätze fördern, Interessenlagen transparent machen, Akzeptanz fördern, gemeinsame Ziele definieren, Förderstrategien und -mittel transparent machen. Es ist erforderlich, dass der Gesetzgeber die Rahmenbedingungen für den Rechtsanwender verständlich und im Hinblick auf die Orientierung am Prinzip der Nachhaltigkeit eindeutig formuliert.
- Das Land sollte hierzu einen Praxisleitfaden erarbeiten und bereitstellen, ähnlich, wie dies in anderen Bundesländern geschieht („Hinweise zur schonenden Gewässerunterhaltung“).

über:

- „Die Wasserwirtschaftlichen Konzepte und Planungen sollten länderübergreifend (insbesondere mit Berlin) enger abgestimmt werden. Die Bildung länderübergreifender Bewirtschaftungsverbände ist sinnvoll.
- Einführung eines landesweiten Niedrigwassermanagements für Niedrigwasserphasen mit übergeordneter Entscheidungskompetenz der Landesbehörden über sämtliche wasserwirtschaftliche Anlagen ähnlich wie im Fall der Hochwasservorsorge.
- Hochwasservorsorge und Wasserbewirtschaftung müssen planerisch besser miteinander abgestimmt werden.
- Eine Anpassung der Agrarförderpolitik ist nötig, um die Landnutzung stärker an den Zielen der Wasserrahmenrichtlinie auszurichten. Die Agrarbeihilfen sollten stärker dazu genutzt werden, um die Landwirte als Partner für deren Umsetzung zu gewinnen. Finanzielle Nachteile der Landwirte für naturgerechtes Wirtschaften müssen beseitigt werden. Beispielsweise sollten vernässte Flächen in die Direktzahlungen (1. Säule) einbezogen werden; gleichzeitig sollte die Umstellung von Rinderstallhaltung auf Weidewirtschaft gefördert werden.
- Unterstützung der Entwicklung und Anwendung von praxistauglichen Verfahren zur Nutzung von Brauchwasser für die Wasserrückhaltung, Wiedervernässung sowie Rückgewinnung von Nähr- und Mineralstoffen. Zur Rückführung gereinigter Abwässer in die Landschaft sollten Forschungs- und Modellprojekte realisiert werden, um die Wissensbasis zu verbessern und so die nötigen fachlichen Voraussetzungen zu schaffen.
- Es sollte überprüft werden, welche Risiken angesichts des Klimawandels, der weiteren Braunkohlenutzung sowie der wasser- und stoffhaushaltlichen Sanierung im Lausitzer Revier für die verschiedenen Wassernutzungen im Einzugsgebiet der Spree und der Schwarzen Elster bestehen.“

bis hin zu:

- „Zu den zu überarbeitenden Gesetzen und Verordnungen gehören unter anderen das Landeswassergesetz, das Wasserverbandsgesetz, das Kommunalabgabengesetz, das Zweckverbandsgesetz sowie nachfolgende Richtlinien und Verordnungen, insbesondere auch die Grundwasserverordnung. In den Normen muss eine Umorientierung der Zweckverbände hinsichtlich ihrer Aufgaben dahingehend festgeschrieben werden, auch zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes sowie zur verstärkten Anwendung dezentraler Lösungen der Abwasserbehandlung beizutragen, wo es ökologisch sinnvoll ist. Das Kommunalabgabengesetz ist so anzupassen, dass es für die Zweckverbände Anreize bietet, ökologische Lösungen für zentrale Klärwerke umzusetzen, und dass Grundstückskleinkläranlagen dauerhaft zugelassen werden können.“ (NHB 2009: 42–45)

Insgesamt zeigt sich, dass die Fokusregion Berlin-Brandenburg bedingt durch ihre Lage im vergleichsweise wasserarmen Einzugsgebiet der Elbe seit jeher und auch zukünftig besonderer Aufmerksamkeit bei der verknüpften Planung und Bewirtschaftung von Land- und Wasserressourcen unter sich ändernden globalen und regionalen Rahmen- und Randbedingungen bedarf.

## **Kernaussagen**

*Barbara Köstner, Sonja Germer, Jost Heintzenberg*

### ***Herausforderungen infolge des Umweltwandels***

Das regionale Klima stellt eine wesentliche Rahmenbedingung aller natürlichen Prozesse und des menschlichen Handelns dar und war bisher relativ verlässlich. Verbunden mit dem seit einigen Jahrzehnten beobachtbaren Anstieg der mittleren Temperaturen werden bekannte Schwankungsbereiche überschritten. Daher ist es nicht möglich, unsere bisherigen Erfahrungen ohne weiteres in die Zukunft zu übertragen. Wir sind gefordert, fehlendes Erfahrungswissen durch Systemwissen und *Abschätzungen des zukünftigen Systemverhaltens* zu ergänzen.

Das Systemverhalten von Atmosphäre, Biosphäre, Pedosphäre und Hydrosphäre ist sehr komplex und kann nur durch aufwändige numerische Modelle simuliert werden. Die Güte dieser Abschätzung hängt vom Systemverständnis und seiner Wiedergabe im Modell ab. Die Dynamik von Modellsimulationen wird sowohl durch Klimadaten angetrieben als auch durch Veränderungen der Oberfläche infolge von Land- und Bodennutzung. Bisher wurden vor allem Letztere ungenügend in den regionalen Klimamodellen berücksichtigt. Hinzu kommt, dass der Mensch die Dynamik über die Emission von Treibhausgasen und Aerosolen und die Bewirtschaftung der Landoberfläche beeinflusst. Dies hängt wiederum von politischen, demographischen und sozioökonomischen Entwicklungen ab. Daher muss mit verschiedenen Szenarien des zukünftigen gesellschaftlichen Verhaltens gearbeitet werden. So besteht eine besondere Herausforderung darin, dass nicht nur Veränderungen in der Vergangenheit erklärt, sondern quantitative Aussagen über mögliche Entwicklungen in der Zukunft getroffen werden sollen. Aus diesen Zusammenhängen ergeben sich große *Unsicherheiten*, die es aufzuzeigen gilt und deren Handhabung gelernt werden muss.

In historischer Perspektive führten die Nutzung natürlicher Ressourcen und wirtschaftliches Handeln schon immer zu einem Wandel der Umwelt. Je nach Art und Intensität des anthropogenen Einflusses manifestierten sich die Folgen zu unterschiedlichen Zeiten. Die Absenkung des Wasserspiegels oder das Trockenfallen eines Gewässers kann einerseits sehr rasch zu Veränderungen der abiotischen Bedingungen und der Biodiversität führen. Andererseits können durch diffuse Einträge zeitverzögert Belastungen im Nährstoffhaushalt von Seen auftreten. Landschaftliche Eingriffe in den Wasserhaushalt etwa durch den Bergbau haben eine langzeitige Wirkung und beeinflussen größere Wassereinzugsgebiete und das Grundwas-

ser. Wassereinzugsgebiete wie auch die Atmosphäre machen dabei vor politischen Grenzen nicht halt. Bilanzierungen des Stoffhaushalts sowie Einschätzungen von Eingriffsfolgen müssen sich daher an natürlichen und politischen Räumen orientieren. Das Aufnahmevermögen der Atmosphäre hinsichtlich anthropogener Gase und das Pufferungsvermögen der Ozeane und großen Landflächen sind enorm. Rückwirkungen auf das regionale Klima machten sich daher erst nach vielen Jahrzehnten bemerkbar. Diese langfristigen Entwicklungen können in absehbarer Zeit nicht gestoppt oder gar rückgängig gemacht werden. Schon aus diesem Grund ist es geboten, nicht nur die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren, sondern gleichzeitig Anpassungen an den Klimawandel vorzunehmen. Über die Atmosphäre werden Gase und Aerosole global verteilt. Somit trägt sie zur „Globalisierung“ von bisher räumlich begrenztem Umweltwandel bei. Umweltveränderungen und die ihnen zugrunde liegenden Prozesse müssen daher auf unterschiedlichen *räumlichen und zeitlichen Skalen* und über Skalen hinweg verstanden und abgebildet werden. Dafür ist nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch bei Entscheidungsprozessen mehr Abstraktionsvermögen erforderlich.

Die *Fokusregion* ist hinsichtlich ihrer naturräumlichen Rahmenbedingungen und historischen Entwicklung im innerdeutschen Vergleich eine wasserwirtschaftliche Problemregion. Der Klimawandel verschärft diese Entwicklung, da mit einer Zunahme der Verdunstung und Abnahme der Sommerniederschläge zu rechnen ist. Entsprechend reagiert der Landschaftswasserhaushalt derzeit mit überwiegend negativen Trends auf einen Ursachenkomplex von steigender Temperatur, Landnutzungsänderungen, zeitlich variierender Stau- und Abflussregulierung in der Landwirtschaft, Eingriffen in das Abflussverhalten von Fließgewässern sowie in den Grundwasserhaushalt durch den Bergbau bzw. dessen Folgen. Die zahlreichen Gewässer der Region befinden sich heute in einem teils sehr naturfernen und schlechten ökologischen Zustand. Infolge des Anstiegs der Wassertemperaturen ändert sich das physikalisch-chemische Gefüge von Seen, und subtropische, toxische Algenarten konnten sich bereits verbreiten. Allerdings besitzen die Gewässer wichtige Potenziale des Wasserrückhalts sowie der Selbstreinigung, Kohlenstoffsenkenfunktion und Artenvielfalt.

### ***Ansatzpunkte für Forschung und Handeln***

#### **Verbesserung des Systemwissens durch Prozessintegration und Datengrundlage**

Die Defizite regionaler Klimamodelle bestehen vor allem darin, Rückkopplungen der Atmosphäre mit Prozessen der Landoberfläche bisher nicht hinreichend zu berücksichtigen. Für eine verbesserte Prozessintegration sind räumlich repräsentative Kenngrößen vonnöten. Hier ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Forschung weiter zu intensivieren und mit speziellen Anforderungen der Klimamodellierung abzustimmen. Ein weiterer Schritt besteht in der verbesserten Kopplung von Klimamodellen mit Wirkungsmodellen, die z. B. Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserhaushalt, die Bodenbeschaffenheit und die Pflan-

zenproduktion beschreiben. Damit lassen sich räumlich-explicit zukünftige Entwicklungen abschätzen und Entscheidungen unterstützen. Die Güte der Pflanzen- und Bodenmodelle hängt von Ergebnissen aus langjährigen Feldversuchen ab. Je langzeitiger, desto wertvoller ist in der Regel die Messreihe. Langzeitversuche sollten daher nicht abgebrochen werden.

Gerade in der seenreichen Fokusregion besteht konkreter Bedarf, aquatische Systeme vor allem hinsichtlich ihrer Kohlenstoffbilanzen einzubeziehen. Zur räumlichen Integration und Erfassung der zeitlichen Dynamik von Kenngrößen sollten moderne Methoden der Satelliten-Fernerkundung besser genutzt werden. Für ihre Routineanwendung müssen robuste und einfach anzuwendende Technologien entwickelt werden. Weiter ist davon auszugehen, dass die Fortschritte in der Informationstechnologie die Entwicklung der modellgestützten Analysewerkzeuge auch zukünftig weiter vorantreiben.

Die Simulation von Umweltveränderungen erfordert einheitliche Umweltdaten in hinreichender Dichte zur Extrapolation und Validierung. Zugleich dokumentieren die Umweltbeobachtungen den Zustand der Ökosysteme einschließlich relevanter Entwicklungen. Zur Erreichung des „guten ökologischen Zustands“ gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie ist ein Monitoring von Wassermenge und -beschaffenheit notwendig. Um Veränderungen der Gewässer zu erkennen, die eher auf regionalen Veränderungen wie einer Temperaturerhöhung beruhen, ist es wichtig, ein entsprechendes Monitoring sowohl an Orten mit hohem anthropogenem Einfluss als auch an naturnahen Ökosystemen durchzuführen. Der hohe finanzielle und organisatorische Aufwand für Langzeituntersuchungen legt eine bessere Abstimmung zwischen Behörden, Sanierungsträgern und Forschungseinrichtungen nahe, sodass die Bemühungen sich ergänzen können. Hierbei wären die zahlreichen Initiativen und Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf Regional-, Landes-, Bundes- und EU-Ebene besser zu vernetzen und mit Blick auf Auswertung und Bereithaltung bestehender Daten enger zu verbinden. Bestehende Messnetze sollten daher nicht abgebaut, sondern hinsichtlich möglicher Synergien geprüft werden. Nicht zuletzt gilt es, auch die Nutzung bereits vorhandener Daten in Form von lokalen Klima- aufzeichnungen oder Satellitenarchiven zu unterstützen. Hierfür ist es wichtig, historische Messungen durch Proxydaten, wie zum Beispiel Baumringanalysen, zu validieren. Die Daten sollten einheitlich sowie in digitaler Form vorliegen und zugänglich sein.

### **Unsicherheiten aufzeigen und mit unscharfem Wissen umgehen**

In der Umweltforschung ergeben sich Unsicherheiten aus ungenügendem Systemverständnis und aus der Notwendigkeit, Prozesse über Skalen hinweg, das heißt von global bis lokal bzw. von der Vergangenheit bis in die Zukunft zu extrapolieren. Für die Extrapolation sind Modelle erforderlich, die zwangsläufig die Wirklichkeit nur in reduzierter Form abbilden. Eine sehr gute Datenlage, also geeignete Aufzeichnungen, die weit zurückgehen und in hoher räumlicher Dichte vorliegen, kann die Unsicherheit reduzieren, aber niemals vollständig beheben. Extrapolationen in die

Zukunft bleiben immer unsicher, da die zukünftigen Randbedingungen nicht bekannt sind. Sie müssen in verschiedenen Szenarien angenommen werden. Auch gibt es nicht das eine „wahre Modell“, sondern die Modelle repräsentieren verschiedene mögliche Herangehensweisen. Es empfiehlt sich daher, sich nicht auf ein einziges Modellergebnis zu stützen, sondern mehrere Modelle und Datensätze zu kombinieren. Aus der Spannbreite der Ergebnisse solcher Multi-Modell-Ansätze resultiert ein Maß an Unsicherheit. Je näher der betrachtete zukünftige Zeitraum an der Gegenwart liegt, desto geringer ist im Allgemeinen die Unsicherheit. Um Trends abschätzen zu können, sind daher Beobachtungsdaten essenziell. Der Umgang mit Szenarien und „unscharfen“ Ergebnissen muss erlernt werden. Dazu tragen modellbasierte, interaktive Entscheidungshilfessysteme bei, mit denen verschiedene Szenarien und Datenkombinationen getestet und auch Risikokarten erstellt werden können. Dabei sind Handlungsansätze zu bevorzugen, die sich relativ robust gegenüber unsicheren Entwicklungen verhalten, reversibel, umsteuerbar oder grundsätzlich zu befürworten („No-Regret“) sind.

### **Entwicklung von Skalenbewusstsein und Skalenintegration**

Die „Skalenfrage“ ist Betrachtungen des globalen Klimawandels und seiner regionalen Ursachen bzw. Ausprägungen (z. B. Emissionszentren von Treibhausgasen, großflächige Einflüsse auf den Wasserhaushalt) und globalen Veränderungen immanent. Dies schließt auch die zeitliche Skala, das heißt die sehr langfristigen Entwicklungen von geologischen Zeiträumen bis in die Zukunft hinein ein. Auch in der Ökosystemforschung werden Konzepte an Skalen und Integrationsebenen orientiert. Allgemein werden in der Naturwissenschaft Skalen über zeitlich und räumlich unterschiedlich integrierende Messverfahren (etwa von der Klimastation zum Satelliten oder vom Niederschlagsmesser zum Pegel des Wassereinzugsgebietes) bzw. theoretisch in Modellen integriert. Wichtig sind hierbei eine gute Abstimmung bei der Datenerhebung und die Kompatibilität der Daten. Informationen über die Landoberfläche wie Boden- und Landnutzungsdaten liegen oft nur in sehr uneinheitlicher Form oder nur in grober Auflösung vor, sodass sie für die Entwicklung regionaler oder lokaler Anpassungsmaßnahmen unbrauchbar sind. Die Unsicherheit von Aussagen ist auch von der Skala abhängig. So werden einerseits kurzzeitige Extremereignisse nicht hinreichend in Klimasimulationen repräsentiert. Andererseits sind lokale Extremereignisse wegen ihres Schadenpotenzials von höherer politischer Relevanz als der mittlere Temperaturanstieg. Generell sollte das Bewusstsein für skalenabhängige Prozesse und ihre Verknüpfung über große Skalen hinweg gestärkt werden. Fragen des Umweltwandels müssen für Anwendungen in der Praxis sowohl natürlich als auch politisch definierten Räumen Rechnung tragen. Demnach erfordert die wasserwirtschaftliche Planung eine neue Qualität des vernetzten Denkens und Handelns im Flussgebietsmaßstab, insbesondere durch eine stärkere Zusammenführung von Akteuren der Land- und Wasserbewirtschaftung, der Raumplanung und des Wasserbedarfsmanagements.

### **Besondere Ansatzpunkte in der Fokusregion**

Die Fokusregion wird als „gewässerreich“ und „wasserarm“ zugleich charakterisiert. Dies bedeutet, dass zwar ein hohes Speicher- und Umsetzungspotenzial in den Gewässern besteht, aber durch geringe Niederschläge, hohe Verdunstung und geringe Speicherkapazität der Böden wenig „verfügbares“ Wasser genutzt werden kann. Dadurch reagiert der Wasserhaushalt sehr empfindlich auf Veränderungen der Rahmenbedingungen.

Da zu erwarten ist, dass sich mit dem Klimawandel die Wasserverfügbarkeit in der Vegetationsperiode weiter verringert, sind Maßnahmen zum natürlichen Wasserrückhalt sowie die Einrichtung von Wasserspeichern zu fördern, um eine gleichmäßige Versorgung zu gewährleisten. Weiter könnte gereinigtes Abwasser zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen oder zur Stützung des Wasserhaushalts von Feuchtgebieten genutzt werden. Bei Letzterem ist zu beachten, dass begleitende Untersuchungen notwendig sind, da beim Grundwasser Einleitungsgrenzwerte und die deutsche Gesetzgebung zu beachten sind. Das Grundwasser bildet den größten natürlichen und damit kostenlosen Speicher. Zur effizienten Grundwasseranreicherung müssten Flächen identifiziert werden, die besonders geeignet sind, Wasser zurückzuhalten. Das Wieder-in-Funktion-Setzen von natürlichen Retentionsräumen sowie die Revitalisierung und der Schutz von Mooren und anderen Feuchtgebieten hätten neben dem Wasserrückhalt auch einen positiven Effekt auf den Nährstoffrückhalt in der Landschaft. Solche „Win-Win-Effekte“ können sich auch durch ausgedehnte Kulturen von Röhricht- und Weichholzbeständen (Paludikulturen) ergeben, die gleichzeitig als nachwachsender Rohstoff energetisch genutzt werden.

Die Gewässer Berlin-Brandenburgs sollten als wirklicher Reichtum verstanden werden, deren Wert in Zeiten des Klimawandels steigt. Ein bisher weitgehend ungenutztes Potenzial besteht in den systemeigenen Ökotechnologien der Gewässer. Die Gewässer leisten der Gesellschaft wertvolle Dienste: Dies betrifft den Wasserrückhalt, die Selbstreinigung und Stoffregulation, Nahrungsproduktion, Lebensraumfunktion und Förderung der Biodiversität, die positiven Effekte auf Mikro- und Regionalklima, die Wasserstraßen sowie Freizeit- und Erholungsfunktionen. Zukünftig wird es mehr Sommertage und weniger Frosttage geben. Die Wärmeinsel Berlin wird dies besonders zu spüren bekommen, da die Zunahme der heißen Tage ein erhöhtes Gesundheitsrisiko bedeutet. Für das Stadtklima sollten daher positive klimatische Einflüsse des Gewässernetzes um Berlin weiter genutzt werden. Allgemein gilt es, unter den Rahmenbedingungen des Umweltwandels die gegenwärtigen Schutz- und Nutzungskonzepte der Gewässer und Feuchtgebiete kritisch zu überprüfen und räumlich optimierte, multifunktionelle Leistungen anzustreben.

### **Literatur**

- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. & Palutikof, J. P. (Hrsg.) (2008): Climate Change and Water. IPCC Technical Paper VI, WG II. Geneva.
- Behrendt, A., Schalitz, G., Müller, L., Mindel, G. & Hölzel, D. (Hrsg.) (2001): Untersuchungen zur Niedermoorrenaturierung in Grundwasserlysimetern. 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, 24. und 25. April 2001. Irdning: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein.

- Bernhardt, J. (2009): Ice covers Brandenburg lakes – Past and Future. Diploma thesis. Freiberg: Technical University Bergakademie Freiberg.
- Beyrich, F. (Hrsg.) (2004): Verdunstung über einer heterogenen Landoberfläche – Das LIT-FASS-2003 Experiment. Arbeitsergebnisse Nr. 79. Offenbach: Deutscher Wetterdienst.
- Blackbourn, D. (2007): *The Conquest of Nature: Water, Landscape, and the Making of Modern Germany*. New York: W.W. Norton & Co.
- Böhm, U., Kücken, M., Ahrens, W., Block, A., Hauffe, D., Keuler, K., Rockel, B. & Will, A. (2006): CLM – the climate version of LM: Brief description and long-term applications. COSMO Newsletter 6, 225–235.
- Bolte, A., Wolff, B. & Anders, S. (2001): Tiefensickerung in Abhängigkeit von realer und natürlicher Waldbedeckung – eine bundesweite Modellstudie. Funktionen des Waldes und Aufgaben der Forstwirtschaft in Verbindung mit dem Landschaftswasserhaushalt. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 15, 77–86.
- Briffa, K., Osborn, T. & Schweingruber, F. H. (2004): Large scale temperature inferences from tree rings – a review. *Global and Planetary Change* 40, 11–26.
- Dannowski, R. & Balla, D. (2004): Wasserhaushalt und geohydrologische Situation einer vernässenen Niedermoorfläche mit Schilfanbau in Nordost-Brandenburg. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 43 (2), 27–40.
- Dannowski, R. & Steidl, J. (2000): Modellierung des Gebietswasserhaushaltes mit dem Modell ABIMO. In: LUA (Hrsg.), *Flächendeckende Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg. Studien und Tagungsberichte, Bd. 27*. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg (LUA).
- Déqué, M. (2009): Temperature and precipitation probability density functions in ENSEMBLES regional scenarios. ENSEMBLES Technical Report Nr. 5. Exeter: ENSEMBLES project.
- Dietrich, O., Kaltofen, M., Koch, H. & Schweigert, S. (2007): Wassermanagementoptionen für den Erhalt von Feuchtgebieten unter den Bedingungen des globalen Wandels – Beispiel Spreewald. In: K. Miegel, E. R. Trübger & H. B. Kleeberg (Hrsg.), *Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern*. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Vol. 20. 7, 197–209.
- Driescher, E. (1974): *Veränderungen an Gewässern in historischer Zeit – Eine Untersuchung in Teilgebieten der Bezirke Potsdam, Frankfurt und Neubrandenburg*. Dissertation. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.
- Driescher, E. (2003): *Veränderungen an Gewässern Brandenburgs in historischer Zeit. Studien und Tagungsberichte 47*. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg (LUA).
- Dyck, S., Grünwald, U. & Peschke, G. (1991): Hydrologische Aspekte bei der Sicherung der Mehrfachnutzung von Gewässereinzugsgebieten. *Wasserwirtschaft* 81 (6), 276–281.
- Falge, E., Reth, S., Brüggemann, N., Butterbach-Bahl, K., Goldberg, V., Oltchev, A., Schaaf, S., Spindler, G., Stiller, B., Queck, R., Köstner, B. & Bernhofer, C. (2005): Comparison of surface energy exchange models with eddy flux data in forest and grassland ecosystems of Germany. *Ecological Modelling* 188 (2–4), 174–216.
- Fohrer, N., Haverkamp, S., Eckhardt, K. & Frede, H. G. (2001): Hydrologic response to land use changes on the catchment scale. *Physics and Chemistry of the Earth Part B* 26 (7–8), 577–582.
- Freude, M. (2007): Klimaveränderungen und demografischer Wandel in ihren Auswirkungen auf die Wasserhaushaltssituation in Brandenburg und Berlin. In: M. Barsig, F. Becker, W. Ender, G. Prystav & J. Rubelt (Hrsg.), *Probleme einer nachhaltigen Wasserwirtschaft in Berlin und Brandenburg. Verschwendung, Versteppung und Verschmutzung?* Berlin: Verlag für Wissenschaft und Forschung (VWF), 10–29.
- Freund, M. (2010): *Klima-Wachstumsanalyse mittels Jahrringbreiten von Kiefern aus dem Tegeler Forst*. BSc-Arbeit. Berlin: Meteorologisches Institut der Freien Universität Berlin.
- Germer, S., Kaiser, K., Bens, O. & Hüttl, R. F. (2011): Water balance changes and responses of ecosystems and society in the Berlin-Brandenburg region/Germany – a review. *Die Erde* 142 (1/2), im Druck.

- Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lahmer, W., Lasch, P., Stock, M., Suckow, F., Wechsung, F. & Werner, P. C. (2003a): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK-Report 83. Potsdam: Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, V., Krysanova, W., Lahmer, P., Lasch, M., Stock, F., Wechsung, F. & Werner, P. C. (2003b): 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, Germany, PIK Report 83.
- Gifford, R. M. (Hrsg.) (2005): Pan Evaporation: An Example of the Detection and Attribution of Trends in Climate Variables. Canberra: Australian Academy of Science. National committee for earth system science.
- Graupner, B., Koch, C., Werner, F. & Benthous, F.-C. (2007): Großräumige Sulfatfreisetzung durch sekundäre Pyritoxidation im Lausitzer Bergbaurevier. In: B. J. Merkel, H. Schaeben, A. Hasche-Berger & C. Wolkersdorfer (Hrsg.), Berg- und Hüttenmännischer Tag 2007, Kolloquium: Behandlungstechnologien für bergbaubeeinflusste Wässer. GIS – Geowissenschaftliche Anwendungen und Entwicklungen. Wissenschaftlichen Mitteilungen des Institutes für Geologie der TU Bergakademie Freiberg 35. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 143–150.
- Gröschke, A., Uhlmann, W., Rolland, W. & Grünewald, U. (2002): Hydrochemische Entwicklung Lausitzer Tagebauseen während der Flutung – Beispiel Gräbendorfer See. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 46 (6), 256–267.
- Grube, A., Hermsdorf, A., Reclin, B., Schneider, W. & Wichmann, K. (2000): Prognose des Salzwasseraufstiegs im pleistozänen Grundwasserleiterkomplex eines geplanten Wasserwerks im Land Brandenburg – Grundwassermodelle und hydrogeochemische Untersuchungen. Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 7, 41–52.
- Grünewald, U. (1978): Ein Beitrag zur mathematischen Modellierung von Wasserbewirtschaftungssystemen unter Berücksichtigung des Zufallscharakters der Dargebotsgrößen. Dissertation (B). Dresden: Technische Universität Dresden.
- Grünewald, U. (2001): Water resources management in river catchments influenced by lignite mining. Ecological Engineering 17 (2+3), 143–152.
- Grünewald, U. (2005): Probleme der integrierten Wasserbewirtschaftung im Spree-Havel-Gebiet im Kontext des globalen Wandels. In: F. Wechsung, A. Becker & P. Gräfe (Hrsg.), Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Bd. 6. Berlin: Weißensee-Verlag, 209–218.
- Grünewald, U. (2010): Wasserbilanzen der Region Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 7. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Grünewald, U. & Uhlmann, W. (2004): Zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit in den Lausitzer Tagebauseen: Ausgangspunkt, Stand und Perspektiven. Surface Mining 56 2, 115–125.
- HAD (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD). CD-ROM. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Hannappel, S., Hermsdorf, A., Koseck, R., Pohl, S. & Rietz, C. (2007): Aufbau von Sondermessnetzen zur Überwachung der geogenen Grundwasserversalzung in Brandenburg. Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 14 (1), 5–14
- Herbst, M. & Kappen, L. (1993): Die Rolle des Schilfs im standörtlichen Wasserhaushalt eines norddeutschen Sees. Phytocoenologia 23, 51–64.
- Hewitt, C. D. & Griggs, D. J. (2004): Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and Their Impacts (ENSEMBLES), ENSEMBLES Technical Report Nr. 1.
- Hollweg, H.-D., Böhm, U., Fast, I., Hennemuth, B., Keuler, K., Keup-Thiel, E., Lautenschlager, M., Legutke, S., Radtke, K., Rockel, B., Schubert, M., Will, A., Woldt, M. & Wunram, C. (2008): Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios, m & D Technical Report Nr. 3.

- Hupfer, P. & Chmielewski, F.-M. (2007): Der thermische Übergang von der „kleinen Eiszeit“ zur gegenwärtigen Warmzeit. *Terra Praehistorica*, Archäologische Gesellschaft in Thüringen e.V., Germany, Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas 48, 23–29.
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick. Magdeburg: Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE).
- Jacob, D. (2001): A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorology and Atmospheric Physics* 77, 61–73.
- Jacob, D., Göttel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P. & Sieck, K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland, Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 204 41 138. *Climate Change* 11/08. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Jochheim, H., Einert, P., Ende, H.-P., Kallweit, R., Konopatzki, A., Riek, W. & Strohbach, B. (2001): Die Wasserbilanz der Level-II-Standorte Brandenburgs – Berechnungen mit dem Simulationsmodell FOREST-BGC. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 35 (1), 9–13.
- Jung, M., Reichstein, M., Ciais, P., Seneviratne, S., Sheffield, J., Goulden, M., Bonan, G., Cescatti, A., Chen, J., de Jeu, R., Dolman, A. J., Eugster, W., Gerten, D., Gianelle, D., Gobron, N., Heinke, J., Kimball, J., Law, B. E., Montagnani, L., Mu, Q., Mueller, B., Oleson, K., Papale, D., Richardson, A. D., Rouspard, O., Running, S., Tomelleri, E., Viovy, N., Weber, U., Williams, C., Woo, E., Zaehle, S. & Zhang, K. (2010): Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. *Nature* 467, 951–954.
- Kaiser, K., Günther, N., Merz, B., Bens, O. & Hüttl, R. F. (2011): Historische Veränderungen des Wasserhaushaltes und der Wassernutzung in Nordostdeutschland. In: K. Kaiser, B. Merz, O. Bens & R. F. Hüttl (Hrsg.), *Historische Perspektiven auf Wasserhaushalt und Wassernutzung in Mitteleuropa*. Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt. Münster: Waxmann-Verlag (im Druck).
- Kirillin, G. (2010): Modeling the impact of global warming on water temperature and seasonal mixing regimes in small temperate lakes. *Boreal Environment Research* 15, 279–293.
- Klimareihe (2010): [http://saekular.pik-potsdam.de/klima/de/klimastart\\_de.html](http://saekular.pik-potsdam.de/klima/de/klimastart_de.html).
- Koch, H., Grünewald, U., Kaltofen, M. & Kaden, S. (2009): Anpassungsstrategien für die Wasserbewirtschaftung an den globalen Wandel im Einzugsgebiet der Spree. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2 (11), 600–605.
- Koch, H., Kaden, S., Kaltofen, M. & Grünewald, U. (2007): Wasserbewirtschaftung in grenzüberschreitenden Gewässern unter Bedingungen des globalen Wandels – Beispiel Elbe. In: K. Miegel, E. R. Trübger & H. B. Kleeberg (Hrsg.), *Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern*. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Vol. 20.07, 211–216.
- Koch, H., Kaltofen, M., Grünewald, U., Messner, F., Karkuschke, M., Zwirner, O. & Schramm, M. (2005): Scenarios of water resources management in the Lower Lusatian mining district, Germany. *Ecological Engineering. The Journal of Ecotechnology* 24, 49–57.
- Koch, H., Kaltofen, M., Schramm, M. & Grünewald, U. (2006): Adaptation strategies to global change for water resources management in the Spree river catchment, Germany. *International Journal of River Basin Management* 4 (4), 273–281.
- Köstner, B., Bernhofer, C., Anter, J., Berg, M., Franke, J., Gömann, H., Kersebaum, K. C., Kreins, P., Kuhnert, M., Lindau, R., Manderscheid, R., Mengelkamp, H.-T., Mirschel, W., Nendel, C., Nozinski, E., Richwien, M., Pätzold, A., Simmer, C., Stonner, R., Weigel, H.-J., Wenkel, K.-O. & Wieland, R. (2009): Anpassung ländlicher Räume an regionale Klimaänderungen – die Wissensplattform LandCaRe-DSS. In: M. Mohammadzadeh, H. Biebler & H. Bardt (Hrsg.), *Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen – Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele*. Köln: Institut der Deutschen Wirtschaft, 295–301.
- Köstner, B., Bernhofer, C., Münch, T., Franke, J. & Kuhnert, M. (2010): Vorsorge und Gestaltungspotenziale in ländlichen Räumen unter regionalen Wetter- und Klimaänderungen (LandCaRe 2020) Teilprojekte 1.1–2.1, Schlussbericht, BMBF klimazwei, FKZ PT-DLR 01 LS 05104.

- Lahmer, W. & Pfützner, B. (2003): Orts- und zeitdiskrete Ermittlung der Sickerwassermenge im Land Brandenburg auf der Basis flächendeckender Wasserhaushaltsberechnungen. PIK-Report 85. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Landgraf, L. (2010): Wo steht der Moorschutz in Brandenburg? Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 19, 126–131.
- Landgraf, L. & Krone, A. (2002): Wege zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes in Brandenburg. GWF Wasser Abwasser 143, 435–444.
- Langer, I., Schartner, T., Billing, H. & Cubasch, U. (2010): Vegetationsänderung in Berlin-Brandenburg. Ein Vergleich von Satellitendaten und einem regionalen Klimamodell. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 9. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Leuzinger, S. & Körner, C. (2007): Water savings in mature deciduous forest trees under elevated CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology* 13, 2498–2508.
- Lindau, R. & Simmer, C. (2010): Vorsorge und Gestaltungspotenziale in ländlichen Räumen unter regionalen Wetter- und Klimaänderungen (LandCaRe 2020) Dynamische Regionalisierung. Teilprojekt 2.3. Schlussbericht, BMBF klimazwei, FKZ PT-DLR 01 LS 05107.
- Lischeid, G. (2010): Landschaftswasserhaushalt in der Region Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 2. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- LMBV (2009): Angaben zu Grundwasserdefizit und Sumpfungmaßnahmen (Onlinepublikation). [www.lmbv.de](http://www.lmbv.de) (01.11.2009). Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV)
- Lorenz, M., Schwärzel, K. & Wessolek, G. (2005): Auswirkungen von Klima- und Grundwasserstandsänderungen auf Bodenwasserhaushalt, Biomasseproduktion und Degradierung von Niedermooren im Spreewald. In: F. Wechsung, A. Becker & P. Gräfe (Hrsg.), Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Bd. 6. Berlin: Weißensee-Verlag, 284–293.
- Loucks, D. P. & van Beek, E. (2005): *Water Resources Planning and Management. An Introduction to Methods, Models and Applications*. Paris: UNESCO.
- LUA (1993): Wassermengenbilanzen für die Flußgebiete der Spree und Schwarzen Elster. Juli-Ausgabe. Cottbus: Landesumweltamt Brandenburg (LUA), Abteilung Gewässerschutz und Wasserwirtschaft.
- LUA (2002): Umweltdaten aus Brandenburg – Bericht 2002. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg (LUA).
- LUA (2007): Umweltdaten aus Brandenburg – Bericht 2007. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg (LUA).
- LUA (2009): Umweltdaten Brandenburg – Bericht 2008/2009. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg (LUA).
- Lüttger, A. (2001): Ergebnisse des Pilotvorhabens Beregnung und Vergleich alternativer Erschließungsmöglichkeiten eines neuen Standortes für die Beregnung. In: Landesamt für Verbraucherschutz und Landwirtschaft (Hrsg.), 3. Brandenburger Beregnungstag Güterfelde. 21.11.2002. Kurzfassung der Vorträge. Teltow: Landesamt für Verbraucherschutz und Landwirtschaft, 37–43.
- Mey, S. & Pfützner, B. (2008): Analyse zur Minderung von Wassermangelsituationen mit einem gekoppelten Oberflächen-Grundwassermodell. Poster. Tag der Hydrologie 2008 (Onlinepublikation). <http://www.iww.uni-hannover.de/tdh2008/Poster/Mey.pdf> (08.02.2011). Hannover: Leibniz Universität Hannover, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau.
- Müller, L., Behrendt, A., Schalitz, G. & Schindler, U. (2005): Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management* 75 (2), 117–136.
- Myrcik, G. (2009): Meteorological records of the Royal Prussian Gardening School Berlin Dahlem 1908–1951 Freie Universität Berlin, Archiv des Instituts für Meteorologie. Persönliche Mitteilung.

- Nakićenović, N., Davidson, O., Davis, G., Grübler, A., Kram, T., La Rovere, E. L., Metz, B., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Sankovski, A., Shukla, P., Swart, R., R., W. & Zhou, D. (2000): Emissions Scenarios, Summary for Policymakers. Special Report der WG III des IPCC. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Natkhin, M. (2010): Modellgestützte Analyse der Einflüsse von Veränderungen der Waldwirtschaft und des Klimas auf den Wasserhaushalt grundwasserabhängiger Landschaftselemente. Dissertation. Potsdam: Universität Potsdam.
- NHB (2009): Brandenburg auf dem Weg zur Modellregion für Nachhaltige Entwicklung. Endbericht 2009. Potsdam: Beirat für Nachhaltige Entwicklung und Ressourcenschutz des Landes Brandenburg (NHB).
- Nixdorf, B., Rucker, J., Deneke, R. & Grüneberg, B. (2009): Gewässer im Klimastress? Eutrophierungsgefahr in Seen am Beispiel der Scharmützelseeregion. *Forum der Forschung* 22, 99–106.
- NKGCF (2005): Positionspapier für eine kohärente deutsche Forschungsstrategie (Onlinepublikation). [http://www.nkgcf.org/files/service/GC-Forschungsstrategie\\_Positionspapier\\_2005.pdf](http://www.nkgcf.org/files/service/GC-Forschungsstrategie_Positionspapier_2005.pdf) (04.02.2011). München: Nationales Komitee für Global Change Forschung (NKGCF).
- Orlowsky, B., Gerstengarbe, F. W. & Werner, P. C. (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theoretical and Applied Climatology* 92, 209–223.
- Pelz, J. (1997): Die Berliner Jahresmitteltemperaturen von 1701 bis 1936. Beilage zur Berliner Wetterkarte e.V. 20.
- Pelz, J. (2000): Prüfung der Jahresmitteltemperaturen in Berlin für die Jahre 1780 bis 1835. Beiträge des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin zur Berliner Wetterkarte e.V. SO 9.
- Pelz, J. (2007): Einhundert Jahre Wetteraufzeichnungen in (Berlin-) Dahlem. Beiträge des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin zur Berliner Wetterkarte e.V. SO 13.
- Petrow, T. & Merz, B. (2009): Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951–2002. *Journal of Hydrology* 371, 129–141.
- Pollack, P. (1991): Entwicklung und Stand des Meliorationswesens in den fünf neuen Bundesländern – Ausblick in die Zukunft des Meliorationswesens. Bonn: Landwirtschaftsverlag.
- Pusch, M. & Hoffmann, A. (2000): Conservation concept for a river ecosystem (River Spree, Germany) impacted by flow abstraction in a large post-mining area. *Landscape and Urban Planning* 51, 165–176.
- Rockel, B., Will, A. & Hense, A. (2008): Regional climate modelling with COSMO-CLM (CCLM). *Meteorologische Zeitschrift* 17 (4), 347–348.
- Röckner, E., Brasseur, G. P., Giorgetta, M., Jacob, D., Jungclaus, J., Reick, C. & Sillmann, J. (2006): Climate Predictions for the 21<sup>st</sup> Century. Hamburg: Max-Planck-Institut für Meteorologie.
- Roderick, M. L., Hobbins, M. T. & Farquhar, G. D. (2009): Pan evaporation trends and the terrestrial water balance. II. Energy balance and interpretation. *Geography Compass* 3 (2), 761–780.
- Schäfer, A. (2005): Umweltverträgliche Erlenwirtschaft auf wieder vernässten Niedermoorstandorten. *Beiträge zu Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 39 (4), 165–171.
- Schindler, U., Müller, L., Eulenstein, F. & Dannowski, R. (2008): A long-term hydrological soil study on the effects of soil land use on deep seepage dynamics in northeast Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science* 54 (5), 451–463.
- Schleyer, C. (2002): Economic and ecological transformation processes in East German water management regimes: The role of property rights and governance structures. CEESA Discussion Paper 9, 22.
- Schlünzen, K. H., Hoffmann, P., Rosenhagen, G. & Riecke, W. (2009): Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. *International Journal of Climatology* 30 (8), 1121–1136.
- Schönfelder, I. (1997): Eine Phosphor-Diatomeen-Relation für alkalische Seen und Flüsse Brandenburgs und ihre Anwendung für die paläolimnologische Analyse von Auensedimenten der unteren Havel. *Dissertationes botanicæ* 283. Berlin: J. Cramer.
- Schönwiese, C.-D. (2006): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Berlin, Stuttgart: Borntraeger.

- Schwärzel, K., Häntzschel, J., Grünwald, T., Köstner, B., Bernhofer, C. & Feger, K. H. (2007): Fundamentals of the spatially distributed simulation of the water balance of forest sites in a low-range mountain area. *Advances in Geosciences* 11, 43–47.
- Shatwell, T., Köhler, J. & Nicklisch, A. (2008): Warming promotes cold-adapted phytoplankton in temperate lakes and opens a loophole for Oscillatoriales in spring. *Global Change Biology* 14 (9), 2194–2200.
- Simon, M. (2009): Die landwirtschaftliche Bewässerung in Ostdeutschland seit 1949. Eine historische Analyse vor dem Hintergrund des Klimawandels. PIK-Report 114. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (Hrsg.) (2007): *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Sonntag, H. (2007): Problem Sulfat in der Spree – Stand der Diskussion und aktuelle Trends. In: B. J. Merkel, H. Schaeben, A. Hasche-Berger & C. Wolkersdorfer (Hrsg.), *Berg- und Hüttenmännischer Tag 2007, Kolloquium: Behandlungstechnologien für bergbaubeeinflusste Wässer / GIS – Geowissenschaftliche Anwendungen und Entwicklungen*. Wissenschaftlichen Mitteilungen des Institutes für Geologie der TU Bergakademie Freiberg 35. Freiberg: Institut für Geologie der TU Bergakademie Freiberg, 151–156.
- Spekat, A., Enke, W. & Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Endbericht zum FuE-Vorhaben FZ: 20441138 des Umweltbundesamtes. Dessau: Umweltbundesamt (UBA).
- Statistisches Bundesamt (2009): *Statistisches Jahrbuch 2009 für die Bundesrepublik Deutschland*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Suckow, F., Lasch, P. & Badeck, F.-W. (2002): Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Grundwasserneubildung. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 15, 36–44.
- Sukopp, H., Sukopp, S., Brande, A., Krauß, M. & Mollenhauer, D. (2010): Der Tegeler See. Botanisch-historische Exkursion am 13. September 2009. *Verhandlungen des Botanischen Vereins von Berlin und Brandenburg* (143), 303–325.
- Tanneberger, F., Tegetmeyer, C., Dylawski, M., Flade, M. & Joosten, H. (2008): Commercially cut reed as a new and sustainable habitat for the globally threatened Aquatic Warbler. *Biodiversity and Conservation* 18 (6), 1475–1489.
- Wantzen, K. M., Junk, W. J. & Rothhaupt, K.-O. (2008): An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. *Hydrobiologia* 613 (1), 151–170.
- Wattenbach, M., Zebisch, M., Hattermann, F., Gottschalk, P., Goemann, H., Kreins, P., Badeck, F., Lasch, P., Suckow, F. & Wechsung, F. (2007): Hydrological impact assessment of afforestation and change in tree-species composition – A regional case study for the Federal State of Brandenburg (Germany). *Journal of Hydrology* 346 (1–2), 1–17.
- Wechsung, F. (2005): Herausforderungen des globalen Wandels für die Elbe-Region. In: F. Wechsung, A. Becker & P. Gräfe (Hrsg.), *Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft*, Bd. 6. Berlin: Weißensee Verlag, 3–57.
- Wechsung, F., Lüttger, A. & Hattermann, F. F. (2008): Projektionen zur klimabedingten Änderung der Erträge von einjährigen Sommer- und Winterkulturen des Ackerlandes am Beispiel von Silomais und Winterweizen. In: F. Wechsung, F.-W. Gerstengarbe, P. Lasch & A. Lüttger (Hrsg.), *Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel*. PIK-Report 112. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), 18–32.
- Wichtmann, W. & Schäfer, A. (2007): Alternative management options for degraded fens – Utilisation of biomass from rewetted peatlands. In: T. Okruszko, E. Maltby & J. Szatylowicz (Hrsg.), *Wetlands: Monitoring, Modeling and Management. Proceedings of the International Conference W3M*. London: Taylor & Francis Group, 273–280.

- Wiedner, C., Rücker, J. & Weigert, B. (Hrsg.) (2008): *Cylindrospermopsis raciborskii* und *Cylindrospermopsis* in Gewässern der Berliner Region. Berlin: Schriftenreihe Kompetenzzentrum Wasser Berlin.
- Wilhelm, S. & Adrian, R. (2008): Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake and consequences for oxygen, nutrient and phytoplankton. *Freshwater Biology* 53, 226–237.
- Winker, M. (2010): Pharmazeutische Wirkstoffe in der aquatischen Umwelt. Kap. V-4.1.2. In: M. Hupfer, W. Calmano, H. Klapper & R. D. Wilken (Hrsg.), *Handbuch Angewandte Limnologie*. Weinheim: Wiley-VCH.

---

Ulrich Cubasch (✉)  
Freie Universität Berlin  
cubasch@zedat.fu-berlin.de

Sonja Germer (✉)  
Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften  
germer@bbaw.de

Uwe Grünewald (✉)  
Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
gruenew@tu-cottbus.de

Michael Hupfer (✉)  
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)  
hupfer@igb-berlin.de

Barbara Köstner (✉)  
Technische Universität Dresden  
koestner@forst.tu-dresden.de

Gunnar Lischeid (✉)  
Institut für Landschaftswasserhaushalt am Leibniz-Zentrum für Agrarlandforschung (ZALF) e.V.,  
Müncheberg  
lischeid@zalf.de

Eberhard Schaller (✉)  
Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
schaller@tu-cottbus.de

Jost Heintzenberg  
Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig

Christopher Kadow  
Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)

Matthias Kuhnert  
University of Aberdeen, Scotland

Brigitte Nixdorf  
Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Herbert Sukopp  
Technische Universität Berlin

Klement Tockner  
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)

## **II. Wandel von Landnutzungen und deren Konsequenzen für Wasserressourcen**

### **Einleitung**

*Inge Broer, Alfred Pühler, Mihaiela Rus*

Einer der wesentlichen Faktoren, die vom globalen Wandel beeinflusst werden und ihn andererseits auch selbst ursächlich mit beeinflussen, ist die Landnutzung, d. h. jegliche Art der Inanspruchnahme von Böden und Landflächen durch den Menschen. Das schließt intensiv oder extensiv bearbeitete Agrarflächen und Wälder bzw. Forste genauso ein wie Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur. Die Art und das Ausmaß der Kultivierung land- und forstwirtschaftlicher Nutzflächen werden dabei auf regionaler und überregionaler Ebene bestimmt durch Agrarmarktpolitik, Weltwirtschaft, Bevölkerungsentwicklung und technische Innovationen. Wandel von Landnutzung bezieht sich nicht nur auf die Änderung der Landbedeckung, sondern auch darauf, wie die Bevölkerung die natürlichen Ressourcen Wasser, Vegetation und Boden nutzt und auf diese einwirkt, etwa durch Bewässerungs-, Entwässerungs- und Düngepraktiken, Ausmaß und Art der Bodenbearbeitung. Das Thema Landnutzung steht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Landschaftswasserhaushalt, der Ernährung, der Produktion nachwachsender Rohstoffe, der Fixierung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre und der Abgabe von Treibhausgasen, aber auch mit der Erhaltung eines vertrauten Landschaftsbildes, dem Heimatgefühl und den Bereichen Erholung und Tourismus.

Landnutzung beeinflusst den Naturhaushalt, insbesondere die Böden und den Wasserhaushalt, aber auch ökosystemare Prozesse, die Artenvielfalt und das Standortklima. Die Eigenschaften der Bodenoberfläche, an der Energie, Wasser und Spurengase mit der Atmosphäre ausgetauscht werden, können die Art und Intensität der Luftbewegung verändern. Die Entscheidung, ob eine Fläche mit Getreide bepflanzt wird, brachliegt, gepflügt wird oder durch Gebäude und Straßen bedeckt ist, entscheidet also mit über das lokale Klima sowie die Wasser- und Stoffkreisläufe. Treibhausgase werden durch unterschiedliche Prozesse bei der Landnutzung freigesetzt, in jüngster Zeit beispielsweise vermehrt durch die Umwandlung landwirtschaftlich nicht genutzter Ökosysteme in Anbauflächen, aber auch durch die jeweils genutzte Technik bei der Landbearbeitung und die Viehhaltung. Landnutzung muss sich daher wandeln und anpassen, um negative bzw. verstärkende Effekte des globalen Wandels abzuschwächen. Die prognostizierten und zum Teil bereits eintretenden klimatischen Veränderungen wie etwa die Zunahme von Extrembedingungen und Wasserverknappungen während der Hauptvegetationsperiode erfordern zum einen den Anbau von stresstoleranten Nutzpflanzen und zum anderen die Anpassung von Bewässerungs-, Entwässerungs- und Anbaustrategien. Schließlich verlangt der

Wandel der Agrarmärkte eine Anpassung der Produktauswahl und der Produktionsbedingungen.

Als weitere relevante Effekte beeinflussen neue gesellschaftliche Ansprüche wie Umwelt- und Ressourcenschutz, Produkt- und Prozessqualität, Tierschutz und multifunktionale Landnutzung bereits heute die Landnutzung. Aber auch die Internationalisierung, die eine Liberalisierung der Agrarpolitik und die Integration des Agrarsektors in die internationale Agrarwirtschaft zur Folge hat, wirkt sich auf die Landnutzung in der Fokusregion aus und wird dies in Zukunft voraussichtlich in noch stärkerem Maße tun. Neue Technologien wie die genetische Modifikation von Organismen, Precision Farming und die Nutzung nachwachsender Rohstoffe können dazu beitragen, diesen Herausforderungen zu begegnen, sie stellen jedoch gleichzeitig auch eine Triebkraft des Wandels dar.

In Regionen, in denen eine ungünstige Wasserbilanz während der Vegetationsperiode zu Problemen bei der Landnutzung führt, wie in Teilen von Brandenburg, wird sich die Situation verschärfen, weil sich mit den steigenden Temperaturen nicht nur die Evaporation, sondern auch der Wasserbedarf der Pflanzen erhöht und sich nach längeren Trockenperioden die Wasseraufnahmefähigkeit infolge von Austrocknung und Benetzungshemmung der Böden verringern kann (Buczko & Bens 2006). So kann es bei Pflanzen mit niedrigerem Temperaturoptimum zu Ertragseinbußen kommen (LUA 2003). Auch die Forstflächen, vor allem schon heute nicht standortgerechte Wälder, werden durch den zunehmenden Hitze- und Trockenstress beeinträchtigt und dadurch in ihrer Senkenfunktion für CO<sub>2</sub> geschädigt. Viele Studien raten dazu, die Umstellung auf einen naturnahen Waldbau auch aus Gründen der Anpassung an den Klimawandel verstärkt zu betreiben (Breckle 2005; Hanke 2005).

Vor dem Hintergrund des globalen Wandels und damit einhergehender Landnutzungsänderungen ist es das Ziel dieses Kapitels, geeignete Anpassungsstrategien zur verbesserten Nutzung und Optimierung agrarischer Ökosysteme zu entwickeln. Solche Strategien werden umso wichtiger, je mehr der Einfluss des globalen Wandels – besonders als Klimawandel und Landnutzungswandel – sichtbar wird. Dieses Kapitel versucht, die Folgen dieser Entwicklungen für die Landnutzung in der Fokusregion zu analysieren und Strategien vorzustellen, die mögliche negative Auswirkungen auf die Landbewirtschaftung mildern und die Wettbewerbsfähigkeit des Sektors sichern können.

Die Strategien, mit denen man den unerwünschten Entwicklungen begegnen kann, werden dabei von unterschiedlichen gesellschaftlichen Anforderungen bestimmt. Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und ihre regionalen Auswirkungen legen den Bereich fest, in dem die Landnutzung dem globalen Wandel begegnen kann. Der Beitrag von *Konrad Hagedorn* setzt sich deshalb mit den Triebkräften des Marktes ebenso wie mit den politischen Bedingungen auseinander und versucht, die Anforderungen an die Agrarpolitik, die sich daraus ergeben, zu definieren. Zugleich müssen aber auch die Auswirkungen auf die Landschaft und ihre Rolle als Erholungsraum berücksichtigt werden. Änderungen in der Landnutzung werden Einwohner der Region nur dann annehmen, wenn den Bedürfnissen nach Heimat und dem touristischen Wert der Landschaft ausreichend Rechnung

getragen wird. *Werner Konold* entwirft daher einen möglichen Rahmen für die Entwicklung der Kulturlandschaften von morgen. All diesen ökonomischen, ökologischen und sozioökonomischen Anforderungen müssen die Maßnahmen zur Anpassung an den globalen Wandel nachkommen. Der Umgang mit Wasser ist hier eine zentrale Aufgabe. Starkniederschläge, Staunässe im Frühjahr und Herbst und intensive Trockenheit während der Sommermonate sind Teil des Szenarios, das in Kapitel 2 beschrieben wurde. Vor diesem Hintergrund entwickelt *Joachim Quast* Strategien zum Integrierten Land- und Wasserressourcenmanagement im märkischen Feuchtgebietsgürtel Oderbruch-Havelland. In dieses Management gliedert sich die Waldbewirtschaftung ein, für die *Ralf Kätzel und Klaus Höppner* Szenarien unter den Bedingungen des Klimawandels in Brandenburg beschreiben. Darüber hinaus sind Änderungen im Wassermanagement in der Landwirtschaft erforderlich. Hier zeigen *Katrin Drastig, Annette Prochnow und Reiner Brunsch* Maßnahmen auf, die sowohl in der Pflanzen- als auch in der Tierproduktion zu einem reduzierten Wassergebrauch und gleichzeitig zu stabilen Erträgen unter Wassermangelbedingungen führen. Eine nachhaltige Produktion schließt zukünftig verstärkt auch eine lokale bzw. regionale Vermarktung ein. *Hans Kögl* beschäftigt sich daher mit der Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten aus Brandenburg in Berlin. Auf diesen ökonomischen und agrarischen Erkenntnissen fußen Überlegungen von *Inge Broer und Reiner Brunsch* zu den Eigenschaften, die in der Fokusregion Berlin-Brandenburg erzeugte Kulturpflanzen haben sollten, und zu den Anbauverfahren, die geeignet wären, um regional nachgefragte Produkte nachhaltig zu produzieren.

## **Regionale Landwirtschaft im globalen Wandel**

*Konrad Hagedorn*

### ***Kann sich Brandenburgs Landwirtschaft der Globalisierung entziehen?***

Landwirtschaftliche und gärtnerische Produkte sind weitgehend Massengüter, die sich profitabel über große Distanzen handeln lassen. Auch landwirtschaftliche Produktionsfaktoren – soweit sie nicht zu den standortgebundenen natürlichen Ressourcen wie Wasser und Boden gehören – sind international mobil, wie der Landmaschinenhandel und auch die starken Migrationsströme landwirtschaftlicher Arbeitskräfte belegen. Ereignisse mit globalen Auswirkungen auf die Nahrungsmittel- und Energiebereitstellung wie Trockenheit, Missernten, Naturkatastrophen, Energieverknappung, Wirtschaftskrisen, (Bürger-)Kriege und anthropogene Ressourcendegradierung können daher die Bedingungen der Agrarproduktion lokal und regional mehr oder weniger stark beeinträchtigen und bilden eine Quelle der Unsicherheit für die regionale Landwirtschaft. Da gerade der Umgang mit Unsicherheit eine der größten Herausforderungen unternehmerischer Tätigkeit ist, ist der Wunsch nach Abschottung vor Globalisierungseffekten erklärbar.

Aber kann sich die Landwirtschaft in einer Region wie Brandenburg unerwünschten Einflüssen der Globalisierung entziehen? Diese Frage kann im Rahmen dieses Beitrags gewiss nur angerissen werden. Zuvor ist zu klären, was in dem vorliegenden Zusammenhang mit Globalisierung gemeint ist und ob die brandenburgische Landwirtschaft tatsächlich spürbaren Globalisierungseffekten ausgesetzt ist.

### ***Bedeutung und Charakteristika der Globalisierung***

#### **Triebkräfte der Globalisierung**

Um eine Vorstellung von der Bedeutung des Begriffs Globalisierung zu gewinnen, erscheinen drei Triebkräfte erwähnenswert (Moreira 2004):

- Zunehmende Marktintegration in Entwicklungsländern: In zahlreichen Ländern waren große Teile der Wirtschaft und Bevölkerung noch nicht in die nationalen oder überregionalen Märkte integriert, sondern es herrschten lokale und regionale Systeme der Versorgung und des Austausches. Dies trifft nicht nur für die Marktintegration zu, sondern auch für die Strukturen kollektiven Handelns und

die Kommunikations- und Informationssysteme. Diese Isolation hat in den letzten Jahrzehnten rasch abgenommen.

- Internationale Liberalisierung und Ausweitung der Märkte: Durch staatliche Entscheidungen sowohl in entwickelten Ländern als auch in Entwicklungsländern wurde die Liberalisierung des internationalen Handels stark gefördert, verbunden mit Prozessen der Privatisierung und Deregulierung. Dieser Prozess war begleitet von einer zunehmenden weltweiten Anerkennung oder gar Hegemonie von Begründungen zur Handelsliberalisierung.
- Informationstechnologien und Kommunikationsnetzwerke, Fortschritte im Transport: Zunehmende Marktintegration und internationaler Handel gingen einher mit erheblichen Fortschritten und Kosteneinsparungen im Transport. Ferner haben neue Informationstechnologien und Kommunikationsnetzwerke den internationalen Austausch und die internationale Koordination der Globalisierungsprozesse wesentlich erleichtert. Dies gilt analog für den Bereich der internationalen Ausbreitung von Wissen und Innovationen.

### **Grundsätzliche Effekte der Globalisierung**

Folge der Globalisierung sind vielfältige Transformationsprozesse auf mehreren Ebenen:

- Nationale Regierungen sahen sich zunehmend gezwungen, das „Urteil“ der internationalen Marktkräfte (Moreira 2004: 18) zu akzeptieren. Ihr Spielraum, Wirtschaftsabläufe und Finanzströme zu regulieren, wurde dadurch entscheidend eingeschränkt. Die Forderung der internationalisierten Wirtschaft, die Nationalstaaten müssten sich der Marktdisziplin beugen, ist mit der Tendenz verbunden, dass Regierungen von Regulierern zu Förderern einer globalisierten Wirtschaft werden.
- Die negativen Nebenwirkungen dieser Entwicklung bestehen in einer wachsenden makroökonomischen Verwundbarkeit einzelner Staaten oder Staatengruppen, wie die jüngste Finanzkrise (2008 bis 2011) zeigt. Der Mainstream der Wirtschaftswissenschaften thematisierte jedoch weniger Gefahren, sondern mehr die erwarteten Gewinne der Globalisierung, die sich aus erhöhter Arbeitsteilung und verbessertem Zugang zu Gütern und Dienstleistungen ergeben.
- Die Beziehungen zwischen den transnationalen Unternehmen und ihrer Belegschaft änderten sich, weil es für Erstere sehr viel leichter wurde, die Produktion ganz oder teilweise zu „delokalisieren“. Die Aufrechterhaltung von Beschäftigungssicherheit und sozialer Sicherheit wurde dadurch schwieriger. Dies nährte Befürchtungen, der Sozialvertrag zwischen Arbeit und Kapital könne Schaden nehmen.
- Die Globalisierungsprozesse offenbarten nicht selten eine doppelte Moral, die sich in einer Diskrepanz zwischen der Liberalisierungsrhetorik der wohlhabenden Länder und ihrem konkreten Verhalten zeigte. Sie schützten gewöhnlich ihre Schlüsselindustrien und ihre Nahrungsmittelkonzerne, wenn diese durch einen Zollabbau bedroht sind, häufig durch sogenannte „non-tariff barriers“, z. B. sanitäre Handelsbarrieren.

- Durch eine wachsende internationale Vereinheitlichung von Lebensmitteln und Ernährungsgewohnheiten – bedingt durch die zunehmende Herausbildung transnationaler Konzerne, die einem hohen Wettbewerbsdruck und daher einem ökonomischen Anreiz zur Standardisierung unterliegen – werden die Nahrungsmittel weltweit immer ähnlicher. Dies führt zur Annäherung von Ernährungsgewohnheiten (Moreira 2004: 18).

Die Haupttriebkraft der Globalisierung war die zunehmende Ausstattung der Welt-handelsorganisation (WTO) mit Kompetenzen. Das Ziel der WTO besteht darin, einen durchgehend freien Weltmarkt zu etablieren. Dabei ist es wichtig, zu erkennen, dass sich Globalisierung über den Bereich der globalisierten Märkte hinaus erstreckt. Eine globalisierte Wirtschaft wird zugleich die „globale Ökologie“ und „globale Gesellschaft“ beeinflussen (Ikerd 2004).

### **Globalisierung aus institutioneller und evolutionärer Sicht**

Was sind die Implikationen der weitgehenden Aufhebung wirtschaftlicher Grenzen zwischen einzelnen Staaten? Um diese Frage zu beantworten, ist es sinnvoll, den Charakter von Abgrenzungen zwischen Ländern und Gesellschaften zu betrachten. Der Globalisierung entgegenstehende Barrieren können beispielsweise natürliche Grenzen sein, die durch erdgeschichtliche Prozesse entstanden sind (Ozeane, Gebirge, Flüsse usw.). Sie schaffen biologische Diversität, die eine Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Artenvielfalt ist und Lebensgemeinschaften stark macht. Ohne Diversität wäre die Natur nicht in der Lage, Leben aufrechtzuerhalten, einschließlich des menschlichen Lebens (Ikerd 2004).

Kulturelle und politische Grenzen definieren unterschiedliche Gemeinschaften von Menschen, beispielsweise Städte, Staaten oder Nationen. Sie sind entstanden, um die Herstellung und Aufrechterhaltung von Beziehungen zwischen Menschen dadurch zu erleichtern, dass nach internen und externen Beziehungen differenziert wird. Die Einbindung in Gemeinschaft ist für Menschen lebenswichtig, sie vermittelt Sicherheit und Möglichkeiten der Interaktion, auch im Dienste wirtschaftlicher Existenzsicherung.

Kulturelle Diversität zwischen Gemeinschaften ist wichtig. In historischer Perspektive standen immer dann, wenn eine Kultur oder Gesellschaft nach einer Dominanzphase zusammenbrach, alternative Gesellschaften zur Verfügung, um die Menschen aufzufangen. Ohne kulturelle Diversität wäre dies nicht möglich gewesen (Ikerd 2004).

Die von ökonomischen Kriterien dominierte Tendenz zur Globalisierung scheint ihre Achillesverse darin zu haben, Diversität zu verringern. Die Menschheit setzt sozusagen alle ihre ökonomischen Pläne auf eine Karte. Ikerd (2004) stellt fest, dass dies in der Vergangenheit anders war: „Humanity has not been willing to put all of its ‘economic eggs’ in one basket“. Die Frage erhebt sich, weshalb ökonomische und politische Akteure sich so verhalten.

Eine ebenso plausible wie hypothetische Antwort ist, dass sie in erster Linie durch eng gefasste ökonomische Überlegungen motiviert sind und weniger durch

weiter gefasste Ziele mit Blick auf kulturelle Entwicklungen, institutionellen Wandel und Veränderungen der natürlichen Umwelt. In die Bereitstellung von „commodities“ (dem Handel mit „Waren“) scheint also immer weniger soziale, kulturelle und ökologische Verantwortung integriert zu sein. Dem kann nur durch explizit darauf ausgerichtete Gestaltung von Institutionen (d. h. Systemen von Regeln) und Governance-Strukturen (d. h. Formen der Organisation, um sie in die Praxis umzusetzen) begegnet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Konvention für Biologische Vielfalt und deren Implementierung in den Mitgliedstaaten.

Wenn es zutrifft, dass Globalisierung zu einer zunehmenden Segregation von Handlungsfolgen führt, wie soll dann deren Integration (soweit für eine nachhaltige Entwicklung sinnvoll und nötig) bewerkstelligt werden, und wer trägt hierfür die Kosten? Nachhaltigkeit erfordert einen systematischen Kompromiss zwischen Integration und Segregation durch geeignete Institutionen und Governance-Strukturen (Hagedorn 2008).

## ***Regionale Globalisierungseinflüsse in Brandenburg***

### **Agrarpreise**

Die Realpreise für ausgewählte landwirtschaftliche Produkte werden künftig nach den internationalen Marktprognosen von Witzke et al. (2009: 6ff.) erheblich steigen. Die Autoren sagen für den Zeitraum von 2003/05 bis 2015/17 Preissteigerungen von 72 % für Weizen, 110 % für Mais, 51 % für andere Getreidearten, 71 % für Ölsaaten und 97 % für Zucker voraus. Denn für die Agrarproduktion geeignete natürliche Ressourcen, insbesondere Boden, können kaum noch zusätzlich erschlossen werden, um die aufgrund des Bevölkerungswachstums zunehmende Nahrungsmittelnachfrage durch zusätzliche Produktionskapazitäten zu decken. Weltweit hat die je Einwohner verfügbare landwirtschaftliche Nutzfläche von 0,4 ha im Jahre 1961/63 auf 0,25 ha 1997/98 abgenommen. Ferner ist das durch die grüne Revolution ausgelöste Produktivitätswachstum, das 1980 bei 4 % lag, bis zum Jahre 2007 auf 1 % gesunken.

Da die Preisentwicklungen als steigende Realpreise auf den regionalen Agrarmarkt durchschlagen, wird die brandenburgische Landwirtschaft von der Globalisierung profitieren. Zu bedenken ist allerdings, dass sich starke Preisschwankungen ergeben, nicht nur durch Dürren und Missernten, sondern auch weil die Preise auf den globalen Energiemärkten aufgrund unterschiedlichster Einflüsse (Kriege, Spekulation, Rezession usw.) erheblichen Fluktuationen unterliegen und die Nahrungsmittelpreise dann parallel zu den Energiepreisen schwanken. Auf dem Weltagrarmarkt hat sich aus diesen Gründen von 2006 bis 2008 der Reispreis verdoppelt, der Weizenpreis ist um 80 % und der Preis für Ölsaaten, wie Raps und Sonnenblumen, ist ca. auf das Dreifache gestiegen (Schumacher & Chilla 2009). Entsprechend sind in Brandenburg gegenüber dem Vorjahr im Jahre 2008/09 die Preise bei Getreide um 65,4 % und bei Ölpflanzen um 31,7 % gestiegen (MIL 2010). Dagegen fiel der Milchpreis in Brandenburg zwischen 2007 und 2009 (Mai) von 40 auf 22 Cent je Liter, um dann wieder anzusteigen. Der Preisindex für Schlachtvieh legte im Jahre 2008/09 gegenüber dem

Vorjahr um +3,8 zu (MIL 2010). Hier schwankten die Preise offenbar weniger, weil auf diesen Märkten komplizierte Zollsysteme eine beachtliche Protektion bewirkten (2007 betrug der Nettoprotektionskoeffizient für Rind- und Kalbfleisch 1,7, für Geflügelfleisch 2,0 und für Schweinefleisch 1,2; Efken et al. 2009: 58).

### **Boden**

Während bislang in Ostdeutschland die Boden- und Pachtpreise für landwirtschaftlich genutzte Flächen im Vergleich zu Westdeutschland niedrig waren (MIL 2010), setzt insbesondere seit 2007 eine deutliche Aufwärtsentwicklung ein. Aufgrund des hohen Pachtanteils der Landwirtschaft in Ostdeutschland von knapp 80 % (MIL 2010) und wegen der an Marktpreisen orientierten Privatisierungsverkäufe der Bodenverwertungs- und -verwaltungs GmbH (BVVG) ist dies für die brandenburgische Landwirtschaft durchaus relevant. Hinzu kommt als preiserhöhender Faktor die Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Bioenergieproduktion (Grundmann & Kimmich 2008). Zu erwarten ist ferner, dass auch der weltweite Wettbewerb um Boden („land grabbing“) nicht vor Brandenburg haltmacht. Es ist davon auszugehen, dass Eigentum an Boden (statt Pacht) für die landwirtschaftlichen Einkommen in Brandenburg zunehmend wichtig wird.

### **Arbeitskräfte**

Die Zahl der Beschäftigten in Brandenburgs landwirtschaftlichen Betrieben sinkt. Nach Ergebnissen einer Erhebung zur Agrarstruktur im Mai 2007 gab es rund 38.000 Mitarbeiter in den 6.700 Unternehmen, was einen Rückgang gegenüber 2005 um 1.100 Beschäftigte oder rund 3 % bedeutet. Von den erfassten Erwerbstätigen waren 8.400 Familienarbeitskräfte, was einem Anstieg um fast 2 % im Vergleich zu 2005 entspricht. Unter die 30.200 familienfremden Arbeitskräfte fallen auch 12.800 Saisonarbeiter (Fock & Müller 2002). Der Hauptanteil der Beschäftigten liegt mit zusammen 74,4 % in den Altersklassen 30–39 (23,8 %), 40–49 (36,4 %) und 50–54 (14,2 %). Die Altersgruppe 50–59 entspricht mit 23,4 % der Größe nach der Altersgruppe 30–39 (23,8 %).

Dagegen sind die vorgelagerten jüngeren und nachgelagerten älteren Gruppierungen relativ schwach besetzt. Die für die Reproduktion des Fachkräftebedarfs wichtigen Altersklassen sind unterbesetzt (Fock & Müller 2002). Ebenfalls problematisch ist der geringe Nachwuchs an Arbeitskräften mit höherer Qualifikation (Hoch- und Fachschulabschluss sowie Meister). Es besteht ein deutliches Defizit unterhalb der Altersgruppe 40 (22,8 %) gegenüber derjenigen über 50 (38,5 %). Etwas günstiger gestalten sich diese Relationen für die Facharbeiter, auch wenn die Altersklassen unter 30 Jahre mit 8,3 % den Anteil der über 50-jährigen mit 26,4 % nicht absichern können (Fock & Müller 2002). Besonders gravierend ist die Nachwuchslücke bei Betriebsleitern.

In einigen Branchen Ostdeutschlands, z. B. im Spargelanbau, sind zahlreiche Saisonarbeiter beschäftigt (insgesamt 2005: 13.565, 2007: 12.837; MIL 2010), die

vor allem aus Polen kommen. Ihre Anwerbung erfolgt nicht durch die deutsche oder ausländische Arbeitsverwaltung, sondern informell über Netzwerke in den Heimatländern, die ein hohes organisatorisches Potenzial haben.

Offenbar reichen diese Netzwerke von Saisonarbeitern nicht nur zu den Betrieben nach Deutschland, sondern auch in andere europäische Länder und sind wiederum miteinander verbunden und verflochten. Die Arbeitssuchenden können somit zwischen der Vermittlungsfunktion verschiedener Netzwerke wählen. Dadurch haben sie eine reale organisatorische Option, in das eine oder das andere Land zu gehen. Da sich die Beschäftigungsmöglichkeiten und Lohnsätze für Saisonarbeiter in den EU-Ländern nicht gleichmäßig entwickeln, sondern gerade durch die Effekte der Globalisierung schwanken, werden Saisonarbeiter in manchen Jahren aus Ostdeutschland abgezogen werden, in anderen wieder vermehrt dorthin strömen. Dies hat beispielsweise der Einbruch bei den Spargelstechern in den Jahren 2007 und 2008 gezeigt. Aufgrund der positiven Entwicklung der Arbeitskräftenachfrage und der Löhne in Irland 2007/2008 zogen zahlreiche polnische Spargelstecher Irland Brandenburg vor. Als dann die internationale Finanzkrise Irland besonders hart traf, kehrten sie im Folgejahr wieder nach Brandenburg zurück (Bock und Polach 2011). Man kann hier von einem ausgeprägten Globalisierungseffekt sprechen.

### **Betriebsmittel**

Unter den Betriebsmitteln sind insbesondere Düngemittel und Energie- und Schmierstoffe (wegen unmittelbarer Abhängigkeit von den Energiepreisen) sowie Futtermittel (indirekt durch Energiepreise und besonders durch Missernten beeinflusst) anfällig gegenüber globalen Schwankungen. So stieg der Preisindex 2007/08 (2008/09) in Brandenburg gegenüber dem Vorjahr für Düngemittel um 32,8 % (80,0 %), für Energie- und Schmierstoffe um 9,7 % (1,5 %), für Futtermittel um 36,4 % (-6,9 %) (MIL 2010). Die Milchproduktion unterliegt demnach mehrfach globalisierungsbedingten Unsicherheiten: hinsichtlich der Milch- und Kraftfutterpreise sowie der Düngungskosten für Grünland und Maisanbau.

### ***Regionaler Schutz vor unerwünschten Globalisierungseffekten?***

Es gibt sowohl physische oder natürliche Gründe (z. B. rasche Verderblichkeit und hohe Transportkosten) als auch institutionelle Gründe (z. B. politisch institutionalisierte Handelsbarrieren) dafür, dass in einer Region konsumierte Agrargüter auch dort produziert werden. Sollte allerdings eine Abschirmung der regionalen Landwirtschaft vor unerwünschten Globalisierungseffekten angedacht werden, so bedarf dies einer differenzierten Betrachtung. Bevor politische Akteure hier zur Tat schreiten, sollten sie sich fragen, ob die eingesetzten Regeln und Organisationsformen die Bedingungen der Konsistenz, Kompatibilität und Kohärenz im Sinne des „fit, scale and interplay“ nach Oran Young (2002) erfüllen.

Von besonderem Interesse erscheint hierbei die Frage, ob die Umstellung auf eine regionale Versorgung der Fokusregion Berlin-Brandenburg im Sinne einer nachhaltigen Ressourcennutzung durch die Landwirtschaft eine realistische und zu rechtfertigende Option ist. Entsprechende Regionalprodukte beanspruchen in Brandenburg nach Kögl (2010: 30) von den 1.327.100 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (MLUV 2001: 41) ca. 72.000 ha und damit nur 5,4 %. Diesen geringen Flächenanteil und damit die geringe Bedeutung für eine nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung zu erhöhen, erscheint schwierig: „Weil mittelfristig weder ein Nachlassen der hohen Wettbewerbsintensität im Lebensmitteleinzelhandel noch ein Anstieg der mengenmäßigen Lebensmittelnachfrage insgesamt oder signifikante Kostenvorteile für regionale Nahrungsmittel gegenüber global gehandelten Produkten zu erwarten sind, wird der Marktanteil regionaler Produkte nur dann signifikant steigen, wenn die Präferenz der Konsumenten für dieses Segment zunimmt“ (Kögl 2010: 44). Stattdessen das Kaufverhalten der Konsumenten zugunsten von Regionalprodukten zu dirigieren, indem man Regeln vorgibt, d. h. einen „institutional fit“ herbeizuführen, liegt wohl außerhalb des faktisch Machbaren und auch des normativ Vertretbaren.

Ebenso stößt der Versuch einer politischen Agrarprotektion auf regionaler Ebene auf ein unüberwindbares „problem of scale“, da solche politischen Interventionen aus Gründen, die hier nicht näher erläutert zu werden brauchen, auf höheren Governance-Ebenen angesiedelt sind, insbesondere der EU-Ebene. Selbst eine nationale preispolitische Agrarprotektion – zuletzt in der EG mühsam in Zeiten des „Grenzausgleichs“ institutionalisiert – würde heute wohl kein politischer Akteur ernsthaft in Erwägung ziehen. Hier bliebe nur die EU, die sich allerdings zu einer schrittweise weitergehenden Liberalisierung der Agrarpolitik entschlossen hat, etwa durch die angekündigte Abschaffung der Milchquotenregelung.

„Institutional interplay“ ist besonders im internationalen Zusammenhang zu beachten. Will ein Entwicklungsland seine Bevölkerung vor hohen Nahrungsmittelpreisen schützen, indem es Preisobergrenzen oder Exportbarrieren schafft, führt dies zu einem Preisanstieg zulasten der Konsumenten in anderen Entwicklungsländern. Möchte ein entwickeltes Land seine Landwirte gegen einen Preisverfall durch Preisuntergrenzen oder Importbarrieren schützen, fallen unter Umständen die Weltmarktpreise zulasten von Erzeugern in anderen Ländern.

Von Braun (2008) schlägt daher ein koordiniertes Vorgehen nationaler Regierungen und internationaler Organisationen unter Einbeziehung von Organisationen der Zivilgesellschaft vor, um verschiedene Maßnahmen kohärent zu implementieren. „Sie wirken sich für die Armen, für die Landwirtschaft und für die Wirtschaft als Ganzes sofort oder zeitlich verzögert aus. Die erste Gruppe von Maßnahmen – das Notfallpaket – zielt ab auf die sofortigen Bedürfnisse nach Nahrungsmittel- und Geldhilfe und erhöhter Nahrungsmittelverfügbarkeit. Die zweite Reihe von Maßnahmen – das Nachhaltigkeitspaket – zielt auf die Notwendigkeit ab, ein nachhaltigeres Nahrungsmittelsystem aufzubauen, das die derzeitigen und zukünftigen Aufgaben meistern kann.“ Das unumgänglich anspruchsvolle „institutional design“ und die langwierige Konsensbildung, die die Realisierung eines solchen Konzepts erfordern würde, machen deutlich, wie wenig erfolgreich singuläre Eingriffe letztlich sein können.

## **Den Rahmen setzen für die Entwicklung der Kulturlandschaften von morgen.**

Regionale Antworten auf globale Herausforderungen finden\*

*Werner Konold*

### ***Was ist Landschaft?***

Landschaft ist etwas außerordentlich Komplexes, nicht nur von ihrer Ausstattung her, sondern auch hinsichtlich der Ansprüche, die an sie gestellt werden. In den Ansprüchen sind seit mindestens zweihundert Jahren Konflikte angelegt, die nicht prinzipiell lösbar sind.

Zum Ersten ist Landschaft:

- Wirtschaftsraum – und zwar seit Jahrtausenden – für Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, für Rohstoffabbau,
- Siedlungsraum,
- Matrix für Infrastruktur,
- eine Ansammlung von Biotopen und Lebensgemeinschaften,
- Matrix für Prozesse, zum Beispiel für Stoffverlagerung und -ablagerung, und für Informationen.

Diese Betrachtung von Landschaft ist geschichtslos, auf aktuelle Funktionalität ausgerichtet; die Kausalitäten scheinen klar zu sein, Abläufe sind wiederholbar.

Zum Zweiten besitzt Landschaft eine historische Dimension. Wenn diese erkannt und gefühlt wird, dann wird Landschaft zur Kulturlandschaft (zwei im Grunde gleichbedeutende Begriffe; vgl. Haber 2000) und zur Heimat und hat eine große emotionale, sinnliche und soziale, eine soziokulturelle Bedeutung. Diese Landschaft ist Projektionsraum, dessen Geschichtlichkeit immer wieder in gleicher Weise erfahren werden will. Während an den spezifischen *Gestaltwert* einer Wirtschaftslandschaft keine Anforderungen gestellt werden, benötigt die Kultur- oder Heimatlandschaft kollektive und individuelle Erinnerungsstücke, Symbole, Formen der Vertrautheit, auch Ordnung und Wegsamkeit, also Formen der Orientierung, und hier und dort unverrückbare und nicht ersetzbare Örtlichkeiten, die den *genius loci* in sich tragen (Krause 1999; Valena 2005). Die jeweils eigenartigen Formen und Spuren stammen aus unterschiedlichen Zeitschichten und haben teilweise direkten Anschluss an die Gegenwart.

---

\* Der Aufsatz ist eine verkürzte und etwas veränderte Fassung des Beitrags „Moderne Kulturlandschaften gestalten heißt, den Spagat zwischen Vertrautheit und Gewöhnungsbedürftigkeit wagen“, erschienen in den Berichten und Abhandlungen der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Band 13 (2007), S. 43–60.



**Abb. 17.** Historische Kulturlandschaften spiegeln eine differenzierte Nutzung und die Agrarstruktur wider

Man findet Gewordenes, Gewachsenes („gewachsene Kulturlandschaft“), Nebenprodukte der Nutzung (Ton- oder Kiesgrube, Torfstich), zweckvoll Gestaltetes, z. B. eine trocken gesetzte Mauer, und artifizuell Gestaltetes – und zwar in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen. Hinzu kommen weitere Elemente wie Feld- und Sühnekreuze, Gedenksteine, Brunnen, Grenzmarkierungen, militärische Hinterlassenschaften. Kulturlandschaft spiegelt – von einer übergeordneten Ebene aus betrachtet – Eigentumsverhältnisse, Erbsitten, Rechtsgeschichte, Agrar- und Forsttechnik, den Grad der Landeskultur, Konfession und anderes wider (Abb. 17). Die Landschaft ist lesbar und das geschulte Auge kann diese Lesbarkeit bis in das Mittelalter zurückverfolgen.

### ***Akteure in der Landschaft, Ansprüche an Landschaft***

Vor dem Hintergrund der Ansprüche an Landschaft sind die menschlichen Akteure Subjekte der Nutzung und der Wahrnehmung; es sind stark vereinfacht zwei Gruppen zu unterscheiden:

- hier die *Gruppe der Wirtschaftler*, Erzeuger, zweckorientierten Gestalter (Gestaltung vom Heute aus gesehen) und die Experten um diese Wirtschaftler;
- dort die *Gruppe der Konsumenten* im weitesten Sinne, darunter Spaziergänger, Touristen und die Schützer von Natur und Landschaft.

Für die erste Gruppe ist Landschaft Wirtschaftsraum und Produktionsmittel, wobei bei der Nutzung, etwa der Rohstoffentnahme, immer wieder, wie oben angedeutet, Neben- und Abfallprodukte entstehen, die das Bild der Landschaft mitprägen, aber nicht bewusst gestaltet wurden. Diese Gruppe agiert pragmatisch, einkommens- und marktorientiert, reagiert auf sich ändernde politische und wirtschaftliche Rah-

menbedingungen, ist also prinzipiell änderungsbereit und anpassungsfähig, zukunftsorientiert, wenn auch nicht immer aus eigenem Antrieb heraus. Die zweite Gruppe hat eine andere Beziehung zu Landschaft. Sie erwartet Vielfalt von Arten, Strukturen und Nutzungsformen, erfreut sich an Heiden, verträumten Teichen und Söllen, Hainen, Hutungen, Hecken, an Quellen und Brunnen, Riegeln und Rainen, also an Elementen der Landschaft, die aus ganz unterschiedlichen wirtschaftlichen und funktionalen Zusammenhängen stammen. Die Gruppe pocht auf Statuserhalt, damit auch auf Wiedererkennungswert, ist eher vergangenheitsorientiert bzw. sucht Referenzen in der Vergangenheit. Kaum einer gehört jedoch ausschließlich entweder der einen oder der anderen Gruppe an. Auch ein Kiesunternehmer, ein typischer Wirtschaftler, hängt an landschaftlichen Konventionen, braucht den Wiedererkennungswert seines Urlaubsortes in der Märkischen Schweiz oder in den Bayerischen Alpen.

Die einen scheinen immer voranzuschreiten, auch gezwungen zu sein, dieses zu tun, und schaffen neue, moderne, neomodische Landschaften; die Konsumenten scheinen mit mehr oder minder großem Abstand hinterherzulaufen. Ausschlaggebend für die Referenz ist der eigene Erfahrungshorizont, wozu auch der der Eltern- und teilweise noch der der Großelterngeneration gehört. Noch ältere Landschaftsbilder werden nicht eingefordert.

### ***Neue Kulturlandschaften***

Unsere künftigen Kulturlandschaften werden neben ihrer Funktion als Produktionsraum für hochwertige Lebens- und Futtermittel Spiegelbild der Globalisierung, des Klimawandels (darunter die Veränderungen des Landschaftswasserhaushaltes), der Klimawandelanpassung, des demographischen Wandels, von Migrationsprozessen und der Preissteigerungen fossiler Energieträger sein (dazu z. B. Arge Future Landscapes 2005). Man könnte weitere Trends hinzufügen, etwa den Agrarstrukturwandel und das Auseinanderklaffen der Einkommensschere, das zugleich zur Nachfrage nach Qualität *und* nach möglichst billigen Lebensmitteln führt. Manche Trends sind beeinflussbar, manche nicht oder nur sehr langfristig.

### **Zunächst: Der Blick zurück**

Wenn man sich mit Veränderungen in der Kulturlandschaft und mit modernen Kulturlandschaften auseinandersetzt, kann es hilfreich sein, einen Blick auf Landschaftswandelprozesse in früheren Zeiten zu werfen, also auf Landschaften, die heute als harmonische, historische Kulturlandschaften geschätzt werden. Auch in der Vergangenheit gab es bei Weitem nicht nur gewachsene, gewordene Landschaften, sondern genauso mit großem Aufwand gestaltete, geplante, verordnete, was mit sozialen Verwerfungen verbunden war – wie heute auch. Fast alle modernen Landschaften, auch die alten modernen, sind von Geometrien gezeichnet; das Gestaltetsein ist also ablesbar.

Ein paar wenige Beispiele aus Brandenburg sollen genügen:

In einer sehr detailreichen Studie untersuchte Driescher (1974; neu erschienen 2003) die Einflüsse des Menschen auf die Gewässer und den Landschaftswasserhaushalt mehrerer Einzugsgebiete Brandenburgs seit dem Beginn des Spätmittelalters. Die Einflüsse waren gravierend: Einzugsgebiete wurden vergrößert oder verkleinert, Binneneinzugsgebiete wurden an Entwässerungsnetze angeschlossen, Fließgewässer wurden verlegt und begradigt. All dies wirkte sich auf die Grundwasserstände, die Nutzung der Gewässer und die Landnutzung generell aus. So lagen die Grundwasserstände vor der deutschen Ostkolonisation deutlich tiefer, die Feuchtgebiete nahmen also eine geringere Fläche ein. Die Kolonisierung führte zu einem „sprunghaften Anstieg“ (Driescher 2003: 134) der Wasserstände und damit auch der Feuchtflächen, ausgelöst durch Mühlenstau. Es wurden Teiche angelegt, Seen miteinander verbunden und Schleusen gebaut. Weitere größere Eingriffe in den Wasserhaushalt fanden im 16. bis zum Beginn des 17. Jahrhunderts statt und dann nochmals Ende des 17. bis weit ins 18. Jahrhundert hinein, wobei die letzte Phase vom Bau etlicher Kanäle und von Fließen für den Holztransport, der Entwässerung und völligen Neugestaltung der großen Luch- und Bruchgebiete sowie der Fällung und Beseitigung von Seen, um landwirtschaftliche Flächen zu gewinnen, gekennzeichnet war. Der Versuch, einen „Naturzustand“ zu rekonstruieren, sei damit, so Driescher, unmöglich und wenig sinnvoll.

Eindrucksvoll beschreibt Bayerl (2007) den Wandel der Niederlausitz von einer überwiegend ertragsschwachen Agrarlandschaft mit vielseitig genutzten Wäldern zu einer „eigenartigen Industrielandschaft“, in der „altes und neues Land ... ohne jeden Übergang neben- und durcheinander [liegen]“ (Müller 1935: 13, in Bayerl 2007: 10). Der Wandel beginnt mit einer „allmählichen Industrialisierung“ ab etwa 1850, in deren Zug der Braunkohlenabbau seinen Anfang nimmt. Bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts steigt er exponentiell an, hinterlässt Bruchfelder und Grundwasserabsenkungsgebiete und verändert die Landschaft deutlich. Am Ende der Entwicklung steht die hoch technisierte Kohleförderung in großflächigem Tagebau. Erste Rekultivierungen gaben der Landschaft ein neues Gesicht. Zu Zeiten der DDR entwickelte sich die Niederlausitz konsequent weiter zu einer sich permanent verändernden Energielandschaft, gleichermaßen geprägt vom Braunkohlentagebau und Großkraftwerken, angetrieben durch die forcierte Industrialisierungs- und Autarkiepolitik der Staatsregierung. So stieg im Bezirk Cottbus die Förderung der Rohbraunkohle zwischen 1955 und 1990 von 61 Mio. Tonnen auf 195 Mio. Tonnen. Bis zum Beginn der 1980er-Jahre hatten die Grundwasserabsenkungstrichter einen Umfang von 1.300 km<sup>2</sup> erreicht; bis 1990 waren rund 800 km<sup>2</sup> der niederlausitzischen Landschaft dem Bergbau zum Opfer gefallen. Mit der Vereinigung der beiden deutschen Staaten setzte eine massive Deindustrialisierung und Entvölkerung ein, jedoch ohne dass die Funktion Energielandschaft aufgegeben worden wäre. Aus einer ehemals wasserarmen Landschaft entsteht durch die Flutung der Tagebaurestlöcher eine Seenlandschaft, industrielle Altanlagen werden Bestandteile von Landschaftsparken. Und es wird insofern in den letzten Jahren ein neues Kapitel in der Landschaftsentwicklung aufgeschlagen, als durch den Anbau von Biomasse die Energielandschaft eine weitere Facette erhält.

Zahlreiche weitere Beispiele zum Wandel verschiedener Landschaften Brandenburgs aus älterer Zeit mit Schwerpunkten auf der Waldentwicklung finden sich bei Krausch (2008).

Große Teile Brandenburgs haben also mehrfach landschaftliche Brüche erfahren und ihr Gesicht erheblich verändert.

### **Zwischenfazit und Wende des Blicks in die Zukunft**

Neue, jeweils moderne Landschaften sind also wahrlich nichts Neues. Sie sind durch starke Eingriffe und große Rigidität bei der Umsetzung von Ideen entstanden. Ihr Gestaltwert und ihre Geschichtlichkeit sind nicht nur wegen ihres verschiedenen Alters sehr unterschiedlich und ganz offensichtlich stellen sich in jedem Fall Gewöhnungseffekte und Vertrautheit ein. Die Veränderung des geschichtlichen Gehalts von Landschaft gerinnt im Laufe der Zeit selbst zur Geschichte, egal, ob dies additiv geschieht – mehrere Zeitschichten bleiben in einer vielfältigen Landschaft sichtbar – oder radikal neue Bilder entstehen. Je näher die Betrachtung des Landschaftswandels an die Gegenwart heranrückt, umso stärker ist die Verlusterfahrung, zumindest bei den Älteren, bei denen die alten „Baselines“, die Referenzen, noch präsent sind.

Doch Akzeptanz und Vertrautheit dürfen sich heute nicht über „Aussitzen“ und Abwarten, also mittel- bis längerfristige Gewöhnungseffekte einstellen, weil sonst die eingangs genannten Akteursgruppen – die Produzenten und die Konsumenten – in immer stärkere Konflikte hinsichtlich der Ansprüche an die Landschaft geraten. Neue Landschaften sollen daher auch Kontinuen, Formen der Vertrautheit aufweisen, wobei kleinflächige oder zeitlich befristete Brüche nicht gegen das Kontinuum stehen, sondern Teil davon sind.

Fasst man Kontinuum und Vertrautheit auf einer abstrakten Ebene in Worte, dann ergeben sich für die Gestaltung von Landschaft folgende Prinzipien:

- Keine großen Maßstabsbrüche begehen.
- Wegsamkeit und Orientierungsmöglichkeit schaffen.
- Marken in der Landschaft setzen.
- Wiederkehrende Motive auftauchen lassen.
- Für Ausblicke und Refugien sorgen.
- Spezifische Sichtbeziehungen schaffen.

Kontinuen tragen Geschichte und Lesbarkeit weiter, Formen der Vertrautheit – auch neu geschaffene – dienen der Identifikation. Landschaften ohne diese Ausstattung sind über längere Zeit geschichtslos und monokausal. Die Idealvorstellung ist, dass sich auf verschiedenen Maßstabsebenen ein raum-zeitliches Muster von Kulturlandschaftsformen erhält oder entwickelt: mehrschichtig, vierdimensional, ein Muster/eine Mischung von Monofunktionalität und Multifunktionalität, eine Mischung von integrativen und segregativen Formen.

### Elemente moderner Kulturlandschaften

Es lassen sich integrative und segregative Ansätze in der Gestaltung heutiger Kulturlandschaften unterscheiden, wobei „integrativ“ mehrere Funktionen (z. B. Schutz und Nutzung) auf ein und derselben Fläche, „segregativ“ die räumliche Trennung von Funktionen meint.

Zu den integrativen gehört der folgende Ansatz, neue Funktionen für vertraute Formen zu schaffen und dabei diese Formen zu vervielfachen, etwa

- Niederwald für Energieholzerzeugung (flächig) (z. B. Helfrich & Konold 2010; Suchomel & Konold 2008),
- Gehölzstrukturen für Energieholzerzeugung (linear),
- Grabensysteme für Grundwasseranreicherung und
- Kleinstrukturen (Raine, Hecken usw.) für Oberflächenabflusspufferung und Erosionsschutz (Bronstert et al. 1995) zu nutzen oder nutzbar zu machen.

Davon nicht zu trennen und ebenfalls integrativ ist der Ansatz, *neue Formen mit Vertrautheit auszustatten*:

- Vertraute Geometrien einbringen über stilvolle und mit dem Relief gehende Wegeführungen, über Schlaggrößen und Schlagführung und Gehölzstrukturen (die gleichzeitig Verbundelemente sein können).
- Sichtbeziehungen erhalten oder neu schaffen, auch durch Gestaltung des Reliefs.
- Von der Funktion, nicht aber vom Bild her neue Nutzungsformen etablieren, z. B. Agroforst-Systeme (Bender et al. 2009; Reeg et al. 2009; Reeg & Brix 2008), etwa Wertholz- plus ackerbauliche Energiepflanzenproduktion, Wertholz- plus Marktfruchtproduktion (Abb. 18), Wertholzproduktion plus Grünland (auch für Energiebiomasse), Wertholzproduktion plus Kurzumtriebskulturen (diese linear oder flächig).

Zu den segregativen Ansätzen zählt die *Wiederaufnahme „altmodischer“ Nutzungsformen* unter Auflösung vorhandener Grenzen und Geometrien, etwa in Gestalt großflächiger, extensiver Weiden, in die hier und dort auch Wald einbezogen wird (z. B. Redecker et al. 2002). Dabei sollen auch bewusst eingefahrene Bahnen verlassen werden, was die Tierarten und -rassen angeht. Man könnte hier weiterdenken in Richtung Game-Farming in Großgehegen, von der Nutzung her vergleichbar mit den feudalen Tiergärten, wo Wildtiere zum Zweck der Jagd gehalten werden.

Beides würde sich eignen für Gebiete, in denen sich die Landwirtschaft auf dem Rückzug befindet infolge von Globalisierung, Preisdruck und Agrarstrukturwandel, die jedoch mehr oder weniger offen gehalten werden sollen, sei es aus naturschützerischen oder touristischen Gründen. Hier könnte auch das Allmende-Prinzip in der Form wiederaufgegriffen werden, dass private Flächen mit Dienstbarkeiten belegt werden, die es beispielsweise einer Gemeinde ermöglichen, Weidekonzepte umzusetzen.

Ein zweifacher Ansatz wäre, *Auen* (segregativ) und *Mulden* (integrativ) *systematisch für die Wasserretention zu ertüchtigen* und damit auf den negativen Trend des Landschaftswasserhaushaltes zu reagieren. So würden Abflüsse abgepuffert



**Abb. 18.** Neuartiges Agroforstsystem mit Walnuss und Getreide in Frankreich (Foto: T. Reeg)

und dabei wiederum Geometrien in den Auen aufgelöst. Die Gebiete könnten dann extensiv beweidet oder der natürlichen Bewaldung überlassen werden.

Und schließlich: Allen globalen Trends zum Trotz muss auf regionaler und lokaler Ebene, also dort, wo Vertrautheit wirkt und empfunden wird, *Landschaft hier und dort bis ins Detail gestaltet und die Eigenart von morgen und übermorgen geschaffen werden*. Das bisher Gesagte hängt mit dem Folgenden eng zusammen. Doch geht es nun nicht mehr um die größeren Strukturen, sondern um die feinen Gesichtszüge der Landschaft, die Geschichte sichtbar machen und die der Landschaft Geschichtlichkeit geben. Das sind beispielsweise dezentrale Materialentnahmestellen, Gruben, Brüche usw., in denen der Unterbau für Wege oder Werksteine für Restaurierungsarbeiten gewonnen werden: Kratzspuren, die immer mal wieder nach Bedarf aufgemacht werden können, um anschließend wieder der Natur überlassen zu werden (Abb. 19). Ungesteuerte Prozesse führen dort zu überraschenden Effekten hinsichtlich der Lebensgemeinschaften und des Landschaftsbildes (Seifert et al. 1995). Solche kleinräumigen nicht dauerhaften Nutzungen fehlen weitgehend in unseren heutigen Landschaften (Konold et al. 1996).

Das sind Erd- und Steinhaufen, Steinriegel und die kleine Wildnis auf einer Kuppe (trocken), in einer Senke (feucht), am rieselfeuchten Hang. In die landschaftliche Gestaltung einzubeziehen sind die zahlreichen neuen Elemente, die noch keinen kulturlandschaftlichen Status erreicht haben, die jedoch mit dem Blick aus der Zukunft auf das Heute als typische Erscheinungsformen unserer Zeit erkannt werden: Energieleitungstrassen, Versickerungsmulden, Einschnitte und Böschungen von Straßen und Bahntrassen, Deiche, Deponien, Sedimentationsbecken und Halden. Vor diesem Hintergrund rückt die artifizielle Gestaltung der Landschaft in den Blick. Den Rahmen kann man mit ein paar Begriffen andeuten:



**Abb. 19.** Steinbrüche sind gleichermaßen „Landschaftswunden“ und reichhaltige Extrembiotope



**Abb. 20.** Wege mit Böschungen und Gehölzsäumen sind nicht nur Verkehrsverbindungen i. w. S., sondern dienen auch der Orientierung und gliedern die Landschaft in spezifischer Weise

- Sichtbeziehungen herstellen,
- für Überraschungen sorgen,
- immer wieder Motive aufgreifen, damit Wiedererkennungswert schaffen,
- Assoziationen hervorrufen,
- markieren, überhöhen,
- vielleicht sogar den *genius loci* herausfordern.

Für die konkrete Umsetzung bedeutet das, die Wege landschaftlich angepasst und reizvoll zu führen, die Wegehierarchie sichtbar und spürbar werden zu lassen (Abb. 20) und mit Bäumen in Gruppen, Reihen und als Solitären zu arbeiten (Reeg & Konold 2011).

Dabei sollten nicht nur die „Klassiker“ Eiche, Linde oder Esche eingesetzt werden, sondern auch Arten, die es in den letzten Jahren als sogenannte Exoten schwer hatten, die jedoch auch manches ältere, vertraute Landschaftsbild nachhaltig geprägt haben, etwa die Schwarzkiefer als Gruppe oder Solitär auf einer Kuppe oder am schwach geneigten Südhang, die Pyramidenpappel (Italienische Pappel), die als Solitär oder in strenger Reihe in der Ebene, im Hügelland, an Hangfüßen mit ihrer zypressenartigen Gestalt Geometrien schafft und unterstreicht und dabei zu einem hohen Wiedererkennungswert beiträgt, die Trauerweide in Siedlungs- und in Wassernähe, die Robinie und andere mehr an Orten, wo es keinen Konflikt mit dem Naturschutz gibt.

### ***Fazit***

Angesichts globalen Herausforderungen ist bei der Gestaltung regionaler Kulturlandschaften vonnöten, sich auf Neues einzustellen, dabei Altes, ja Archaisches einzubeziehen und Kontinuität zu wahren bzw. zu schaffen, neue, zeitgemäße Funktionen für Vertrautes zu suchen, regionale und lokale Spezifika zu erhalten und auch neu zu schaffen, sich dem globalen Wandel, dem Klimawandel, der globalen Ernährungskrise und dem Wandel von Landnutzungen in aller Konsequenz zu stellen und nicht zuletzt viel mehr Mut zur stilvollen Gestaltung zu zeigen.

Damit sich lokal und regional eine je eigene Dynamik, eine Vielfalt von Lösungen entfalten kann, wird mehr Gestaltungsspielraum benötigt, den die Politik schaffen muss. Dann werden sich die Anspruchsgruppen wiederfinden, und auch der Naturschutz wird davon profitieren.

# **Strategien zum Integrierten Land- und Wasserressourcenmanagement im märkischen Feuchtgebietsgürtel Oderbruch-Havelland\***

*Joachim Quast*

## ***Situation der Auen- und Niedermoorstandorte***

Die Fokusregion Berlin-Brandenburg mit ihren sandigen und lehmig-sandigen Grund- und Endmoränen wird von Ost nach West von Feuchtgebieten im Verlauf des Thorn-Eberswalder Urstromtals und des Warschau-Berliner Urstromtals durchzogen (Abb. 1). In diesen Niederungen kam es in Abhängigkeit von den postglazial ausgeprägten hydrologischen Regimes zu unterschiedlichen Bodenbildungen.

In den Flutungsaunen der nach dem Abschmelzen des Eises nach Norden in die Ostsee fließenden Oder kam es bei Hochwasser in den überschwemmten Bereichen durch Sedimentation der mitgeführten Erosionsfrachten zur Bildung von Auelehm-/Auetonböden. Im 1000 km<sup>2</sup> großen Oderbruch am unteren Mittellauf der Oder ist diese Deckschicht 0,5 bis 3 m dick. Der liegende sandig-kiesige Aquifer hat eine Mächtigkeit von 10 bis 30 m (Abb. 21). In den übrigen Bereichen der Urstromtäler, die weiterhin in Ost-West-Richtung entwässerten, bewirkte ein sehr geringes Gefälle ganzjährige Vernässungen mit der Bildung von Mooren und Torfböden (Netze- und Warthebruch, Rhinluch und Havelländisches Luch, Drömling und im Berliner Urstromtal die Spreeniederung).

Die Niedermoore (und auch viele Seen) werden aus dem Basisabfluss des unter den sandigen Standorten im Einzugsgebiet gebildeten Grundwassers gespeist (Abb. 22). Diese Landschaftsstrukturen bewirken das scheinbare Paradoxon von Gewässer- und Feuchtgebietsreichtum in einer niederschlagsarmen Region (Quast 1994, 1995, 1997b). Dieses Wirkungsgefüge verdeutlicht aber auch die Vulnerabilität der Feuchtgebiete und Seen. Bereits gegenwärtig beträgt das sommerliche Wasserbilanzdefizit der Feuchtgebiete 300 bis 400 mm (Dietrich & Quast 2004). Bei geringeren Niederschlägen und höheren Temperaturen würden geringere Grundwasserneubildung und geringere Speisungszufüsse zu den Feuchtgebieten sowie eine höhere Verdunstung aus den Feuchtgebieten folgen, wodurch deren Bestand gefährdet wäre.

Die landwirtschaftliche Nutzung der kultivierten Niederungsstandorte war und ist unverzichtbar an ein den Nutzungszielen angepasstes Wassermanagement ge-

---

\* Eine englische umfangreichere Ausfertigung dieses Textes findet sich in Quast, J. (2011): Strategies for an integrated land and water resources management in the Mark Brandenburg wetland belt Oderbruch – Havelland. Die Erde 142 (1/2), im Druck.

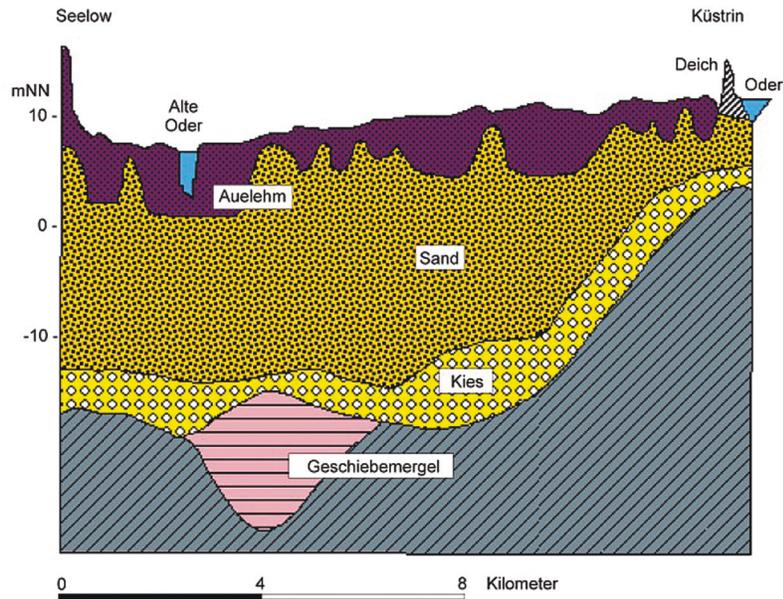


Abb. 21. Geologischer Schnitt zwischen Seelow und Küstrin (Oderbruch)

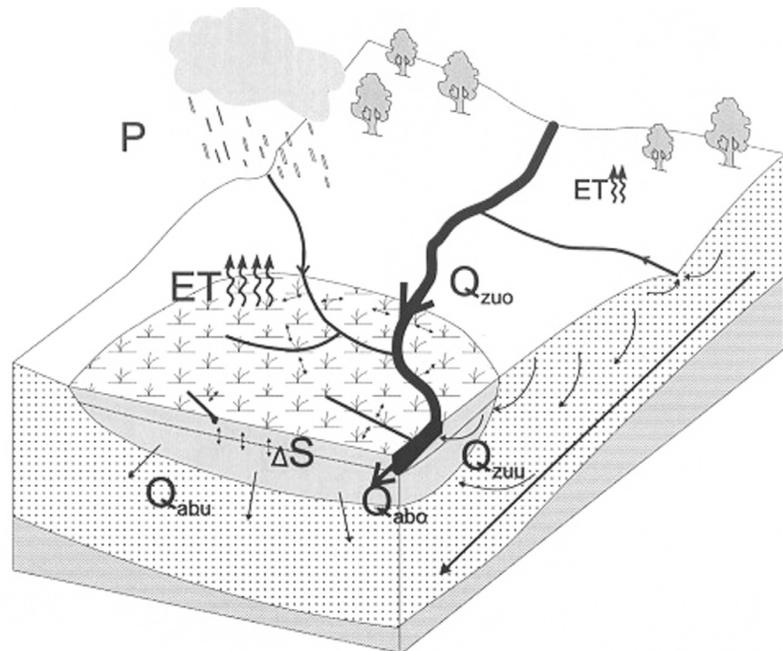


Abb. 22. Wasserbilanz von Niedermooren und Seen im sandigen pleistozänen Tiefland

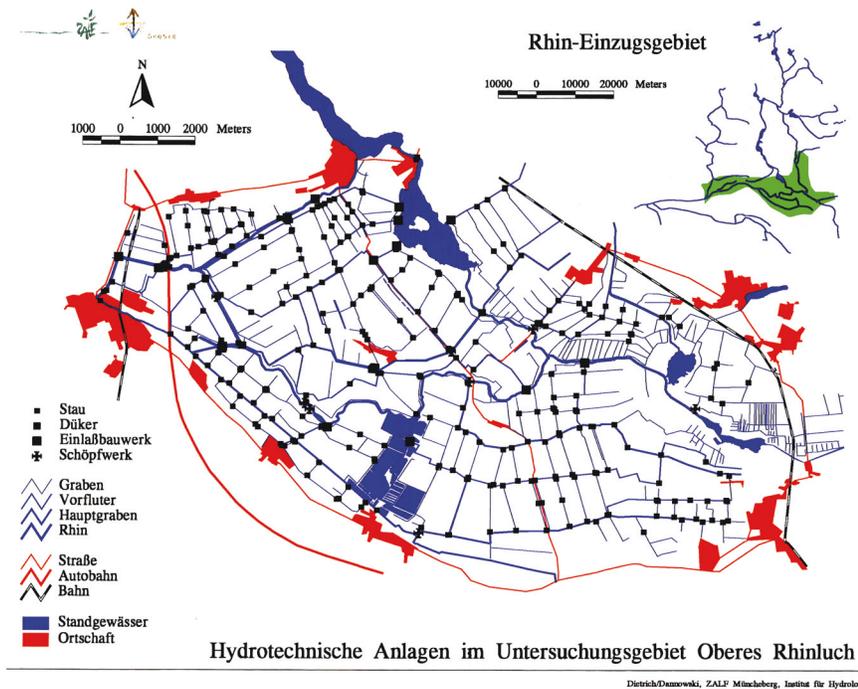
bunden. Diese engen Wechselwirkungen begründen eine Sonderstellung der grundwasserbeeinflussten Niederungen im Hinblick auf Landnutzungsmaßnahmen. Vor etwa 300 Jahren begann man, die Flächen im sogenannten märkischen Feuchtgebietsgürtel für eine landwirtschaftliche Nutzung zu erschließen (Berghaus 1854). Nach dem Dreißigjährigen Krieg (1618 bis 1648) galt es, die Entwicklung der Landwirtschaft und die Neubesiedelung des Landes voranzubringen. Die sandigen Standorte genügten diesen Zielen nur unzureichend. Es lag nahe, die potenziell fruchtbaren Niederungsstandorte einzubeziehen. Das erforderte, die Feuchtgebiete gezielt zu entwässern (mittels Gräben und Ableitungskanälen), vor weiteren Überflutungen zu schützen (mittels Deichen), die Flächen von Gehölzen zu beräumen und in Kultur zu nehmen. Die außerordentlich hohen Aufwendungen für diese Maßnahmen wurden vom Fiskus getragen. Das Oderbruch und auch die meliorierten Niedermoorstandorte entwickelten sich im 18. und 19. Jahrhundert zügig zu prosperierenden Agrarlandschaften mit bedeutenden Versorgungsfunktionen vor allem für Berlin (Blackbourn 2006).

Im Oderbruch ist der einst über die gesamte Niederung (65 km Länge, 12 bis 15 km Breite) pendelnde Fluss seit dem 16. Jahrhundert systematisch durch Deiche und den Neuen Oder Canal (erbaut von 1747 bis 1753) am östlichen Talrand fixiert worden (Mengel 1930). Der Polder, eine Eindeichung natürlicher Überflutungsflächen, im Oderbruch war somit hochwasserfrei. Es folgten Entwässerungssysteme im Polder zur Ableitung des aus der nun höher gelegenen Oder einströmenden Dränagewassers als Voraussetzung für die Kultivierung der Flächen und die Besiedlung des Polders.

Folgenreiche Erweiterungen des Wassermanagementsystems gab es in den 1920er-Jahren durch Installation von Schöpfwerken. Große, bisher noch verbliebene Feuchtgrünlandflächen in Deichnähe und in Geländedepressionen wurden entwässert und in Ackerland umgewandelt. Von 1970 bis 1980 wurde das gesamte Entwässerungssystem nochmals neu strukturiert und durch viele neue Schöpfwerke ergänzt. Der Feuchtgebietsanteil im Polder schrumpfte auf weniger als 5 %. Gleichzeitig wurden Beregnungssysteme installiert, um während der regelmäßigen sommerlichen Trockenperioden eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzenbestände sicherzustellen.

Das Oderbruch gehört mit einer mittleren jährlichen Niederschlagssumme von 450 mm (BMU 2003) zu den niederschlagsärmsten Regionen in Deutschland, sodass trotz guter Wasserspeicherung in den tonreichen Böden sommerlicher Trockenstress auftritt. Neben dem Standortrisiko Trockenheit gibt es seit einigen Jahren auch häufiger für die Region ungewöhnliche Starkniederschläge mit lang anhaltenden Überschwemmungen von Ackerflächen, 2010 waren diese sogar ganzjährig. Es kam zu erheblichen Produktionseinbußen (MUGV 2010). Das Hauptrisiko für die Kulturlandschaft Oderbruch besteht in der Überschwemmungsgefährdung, wenn die Deiche im Falle extremer Hochwasserereignisse versagen.

Bei der Nutzung der Niedermoore herrschte lange Zeit eine extensive Wiesen- und Weidewirtschaft bei relativ flacher Entwässerung und winterlicher Überschwemmung der Graslandflächen vor. Auch bei diesem Entwässerungsregime waren bereits Setzungen der Torfböden und Moorschwind durch Mineralisierung der oberen Bodenschichten zu beobachten (Kratz & Pfadenhauer 2001). Mit Einführung der Schöpfwerkstechnik begann um 1925 eine Periode tieferer Entwässerung,



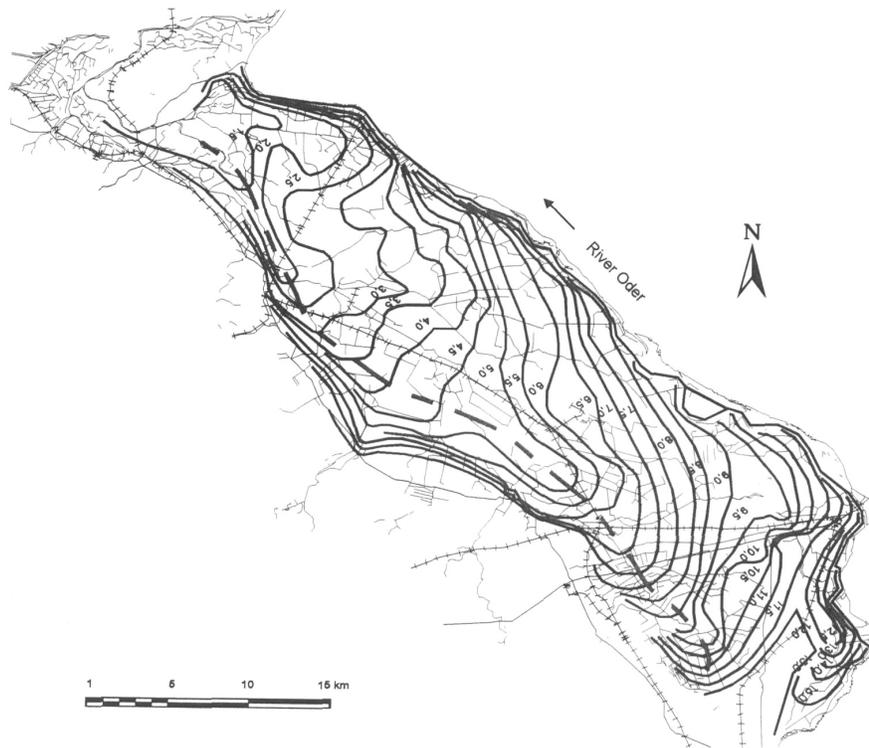
**Abb. 23.** Grabennetz mit Staueinrichtungen im Niedermoorgebiet Oberes Rhinluch

die auf höhere Graslanderträge und auf eine bessere Befahrbarkeit der Flächen abzielte. In den 1970er-Jahren wurden die Wasserregulierungssysteme neu gestaltet und für eine wechselseitig kombinierte Ent- und Bewässerung ertüchtigt (Abb. 23; Quast et al. 1978 ; Leue et al. 1981). Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgte überwiegend mit Saatgrasland und Mais.

Diese Nutzung zeitigte gravierende ökologische Defizite. Die Degradierung der Torfböden wurde beschleunigt, die Bodenfruchtbarkeit sank, die bodenhydrologischen Parameter (Durchlässigkeit, Speicherkapazität) verschlechterten sich (Quast et al. 1993). Die Monokulturen und die praktizierten Technologien verringerten die Biodiversität (Kratz & Pfadenhauer 2001). Die ökologischen Defizite verschärften sich. Im Sommer 2007 führten starke Niederschläge im Havelländischen Luch zu lang anhaltenden Vernässungen mit problematischen Nutzungseinschränkungen.

### ***Stand des Wissens zum hydrologischen Systemverhalten***

Um regionale Handlungs- und Anpassungsoptionen für ein Integriertes Land- und Wasserressourcenmanagement (ILWRM) konzipieren zu können, war und ist zu klären, wie das hydrologische Regime der Feuchtgebiete funktioniert. Systematische Feldmessungen und Modellierungen gibt es seit etwa 1970. Fallstudien zum



**Abb. 24.** Hydroisohypsen im Oderbruch (berechnet aus Grundwasserstandsmessungen am 21. März 1971 bei Mittlerem Hochwasser (MHW) der Oder)

Boden- und Gebietswasserhaushalt sowie Erprobungen daraus abgeleiteter Wassermanagementmethoden für das Oderbruch und das Obere Rhinluch sind zahlreich publiziert (Leue et al. 1981; Quast 1983, 1995, 1997a, 1997b, 1998, 1999, 2006, 2008; Quast et al. 1993; Quast & Böhm 1998; Quast & Lukianas 1999).

Kalibriert an Feldmessungen, wurden 1971 mit einem regionalspezifischen elektroanalogen geohydrologischen Netzwerkmodell Untersuchungen zum Grundwasserregime im Oderbruch in Abhängigkeit von Hochwasserständen der Oder vorgenommen (Quast 1973; Quast & Müller 1973). Die unterirdischen Drängewasserzuflüsse dominieren mehr als 90 % des Wasserregimes im Polder (Abb. 24). Entlang der gesamten Deichlinie im Oderbruch beträgt dieser Zustrom ca.  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  bei Mittelwasserständen der Oder und bis zu  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  bei Hochwasser. Diese Ergebnisse wurden durch spätere Feldmessungen und Modellierungen bestätigt (z. B. WASY 1999). Tiefe Grundwasserstände mit Belüftung des Aquifers unterhalb der Auelehmdeckschicht bewirken Oxidationsprozesse und diffuse Stoffausträge (Massmann 2002; Massmann et al. 2003).

Jedwede mit Entwässerung verbundene Nutzung von Niedermoorböden führt durch die Belüftung der organischen Böden zu deren Mineralisierung mit Degradierung der bodenhydrologischen Durchlässigkeits- und Speichereigenschaften sowie der Bodenfruchtbarkeit (Balla & Quast 2001; Quast et al. 2001).

Von 1992 bis 1998 wurden in dem BMBF-Fördervorhaben „Ökosystemmanagement für Niedermoore“ Chancen und Handlungsoptionen für ein nachhaltiges Miteinander von Schutz und Nutzung norddeutscher Niedermoore untersucht (Kratz & Pfadenhauer 2001). Das Rhin-Havel-Luch war dabei eine von vier Beispielregionen.

## ***Handlungsoptionen und Anpassungsstrategien***

### **Oderbruch**

Bei Poldern sollte generell geprüft werden, ob die unter historischen gesellschaftlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen geschaffenen Strukturen heutigen Nachhaltigkeitskriterien (sowohl ökologischen als auch ökonomischen) genügen und welche regionalen Anpassungen hinsichtlich des globalen Wandels vonnöten sind. Zwei alternative Optionen bieten sich an:

- Rückbau der Deiche und Verzicht auf die weitere intensive landwirtschaftliche Nutzung der Aueböden zugunsten einer Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen mit hohem ökologischen Potenzial.
- Erhalt der Polder, insbesondere der besiedelten, mit Erfordernissen zur Hochwasserrisikoversorge für mögliche extreme Hochwasserereignisse, zur Verbesserung der defizitären ökologischen Situation in den Poldern, zur Optimierung des Wassermanagements in den Poldern bei Orientierung an bedarfsgerechten Zielgrößen und gebotenen Kosteneinsparungen, zur Verbesserung der sozio-kulturellen Infrastruktur und Bewahrung des Kulturerbes in Polderlandschaften wie dem Oderbruch.

Das Oderbruch gehört zu der Kategorie besiedelter Polder mit bemerkenswertem Kulturerbe und einer hochproduktiven Landwirtschaft. Seit Anfang der 1990er-Jahre wurden Vorschläge für Anpassungsstrategien in einem KONZEPT ODERBRUCH 2010 fortgeschrieben (Quast 1997a, 1998; Quast & Ehlert 2005). Das Konzept sieht folgende Maßnahmen vor:

- Verbesserung der ökologischen Situation: Ein 200 bis 500 m breiter Feuchtgebietsstreifen am Deich erhöht den Feuchtgebietsanteil und reduziert die geohydraulischen Gradienten in Deichnähe und damit auch das in den Polder einströmende Drängewasser. Eine Revitalisierung von Oderaltarmen als Fließgewässer sowie eine Anbindung an die Strom-Oder mittels steuerbarer Durchleiter im Deich, wie sie bei Reitwein im Süden (2004) und bei Güstebieser Loose im Norden (2009) bereits gebaut und in Funktion sind, werden geschaffen. Ökologische Korridore von der Oder und dem Feuchtgebietsstreifen am Deich entlang der Hauptwasserläufe bis an die westlichen Hänge des Oderbruchs sollten schrittweise gestaltet werden (Quast & Kalettka 2005).
- Wassermanagement des Binnenentwässerungssystems: Die Entwässerungsgräben im Oderbruch fangen das Drängewasser ab (Abb. 25) und leiten es über Vorfluter und ggf. Schöpfwerke nach Norden in die Alte Oder ab. Für eine schnelle Entwässerung von Oberflächenvernässungen (aus Starkniederschlä-

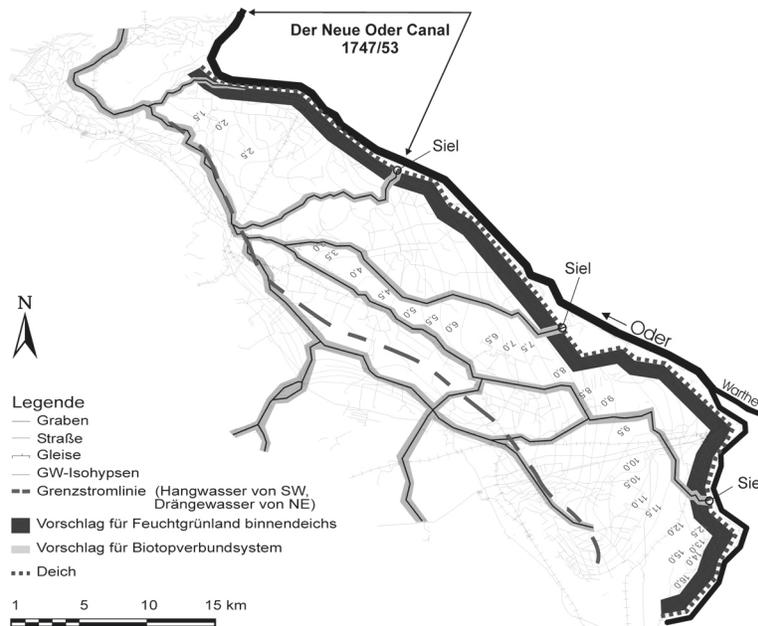


Abb. 25. Übersicht zum KONZEPT ODERBRUCH 2010

gen) ist das Grabensystem nicht wirksam, weil die Substrate der Auelehm-Deckschicht eine sehr geringe Wasserleitfähigkeit aufweisen (Müller 1988). Optional sollten flächendeckend landwirtschaftlich günstige Grundwasserstände von 1,20 bis 1,50 m unter Flur eingestellt werden. Zugunsten dieser großflächigen Ziele sollten Feuchtfelder in Senkenlagen in Kauf genommen werden. Das verspricht eine bessere Steuerungsqualität und erhebliche Kosteneinsparungen.

- Risikovorwarnung für Extremhochwasser: Falls durch Klimafolgen bisher unbekannte extreme Hochwasserabflüsse auftreten, kann es zum Überströmen der Deiche kommen. Das bedeutet die Gefahr von Deichbrüchen und katastrophalen Flutungen der Polder. Für diesen Extremfall müssen am Deich befestigte Überlaufstrecken mit abgesenkter Deichkrone geschaffen werden, die eine kontrollierte Flutung des Polders zulassen, ohne dass der Deich zerstört wird. Auf der abgesenkten Überlaufstrecke können mobile Schutzwände angebracht werden, die im Notfall geöffnet werden. Im Polder müssen die Gebäude auf zeitweise Überschwemmungen hin angelegt sein. Das betrifft vor allem die Elektro- und andere Ver- und Entsorgungsinstallationen.
- Sozio-kulturelle und touristische Aktivitäten: Die historisch gewachsenen Strukturen der planmäßig angelegten Bauerndörfer für immigrierte Kolonisten stellen ein Kulturerbe von nationalem Rang dar, das es zu erhalten und zu pflegen gilt. Dieses Kulturerbe erhöht die gesellschaftliche Wertigkeit des besiedelten Polders mit hochproduktiver Landwirtschaft und verstärkt die Begründung, das Oderbruch in seinem Bestand nicht zur Disposition zu stellen.

### Niedermoorlandschaften im Rhin-Havel-Luch

Angesichts der bereits eingetretenen kritischen Degradierung kommen für die flachgründigen Moore mit einer Moorauflage von 0,5 bis 3 m über Sand zwei grundsätzliche Handlungsalternativen in Frage:

- Fortsetzung der bisherigen Flächennutzung mit Entwässerung im Frühjahr und nachfolgendem Wasserrückhalt mittels der Staue in den Gräben, wobei man eine weitere Moordegradierung akzeptiert. Bei Reduzierung der Moorauflage auf  $< 0,3$  m entsteht beim Pflügen durch Vermischung mit dem liegenden Sand ein sogenannter Anmoor-Boden. Diese Mischböden haben gute bodenhydrologische Eigenschaften und sind ackerfähig.
- Wiedervernässung der degradierten Moorböden mit erneuter Etablierung moorbildender Vegetation, um naturschutzfachliche Ziele zu realisieren oder aber auch zur Produktion nachwachsender Rohstoffe.

Für die Konzipierung regionaler Anpassungsstrategien sind Kombinationen beider Handlungsoptionen denkbar, so wie es für das Obere Rhinluch auch bereits im ökologischen Entwicklungskonzept vorgeschlagen wurde (Kretschmer 2000; Kratz & Pfadenhauer 2001). Die in Depressionslagen erst spät und mit besonders hohem Aufwand entwässerten Moorflächen stellen Vorzugsflächen für die Wiedervernässung dar. Sie können am besten mit dem für die Vernässung erforderlichen Wasser versorgt werden und das auch noch, wenn infolge regionaler Temperaturerhöhung und erhöhter Evapotranspiration (s. *Cubasch/Kadow*, S. 30–36, *Schaller*, S. 37–42) weniger Wasser verfügbar ist, das für das gesamte Gebiet ohnehin nicht mehr ausreichen würde.

### Diskussion

Bei den Optionen für Polder stehen dem Nutzen für relativ kleine regionale Bevölkerungsgruppen hohe staatliche Aufwendungen für den Erhalt der Polder und für das Wassermanagement gegenüber. Daraus folgen die Fragen: „Wie viele Polder kann man sich künftig leisten?“ und „Wie viele Polder sind noch zweckmäßig?“ Das Oderbruch hat nie zur Disposition gestanden. Es wurde mit großzügiger Bundes- und EU-Hilfe durch Ertüchtigung der Deiche für  $HQ_{200}$ , d. h. für eine angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit von 0,5 % in seinem Bestand gesichert. Die Realisierung befestigter Überlaufstrecken für eine gesteuerte Flutung der Polder bei Auftreten unbekannt extremer Fluten und Ausstattung der Gebäude für den Fall einer unvermeidbaren kontrollierten Flutung sind dringliche Anpassungsmaßnahmen für die kommenden Jahre.

Grundsätzlich sind die Polderflächen wichtige Produktionspotenziale für die Landwirtschaft und dürften künftig noch an Bedeutung gewinnen. Dies gilt besonders für die Fokusregion Berlin-Brandenburg, wo nur noch die Prignitz und die Uckermark vergleichbar fruchtbare Standorte aufweisen wie die Polder an der Oder und an der Elbe.

Für die Niedermoorregionen lassen die angeführten Handlungsoptionen nur die zwei Strategien Moorerhaltung durch Wiedervernässung bei Verzicht auf bisherige Nutzung oder Moorvernässung bis hin zu Anmoor/Grundwassersand zu. Die für die Niedermoorgebiete notwendigen Anpassungslösungen bedürfen einer staatlichen Einflussnahme, die beim Erwerb der aus der Nutzung zu nehmenden potenziellen Wiedervernässungsflächen beginnt.

### ***Schlussfolgerungen***

Nachhaltiges integriertes Land- und Wasserressourcenmanagement (ILWRM) ist erreichbar, wenn sich durch bewusstes Einwirken die gewünschten Strukturen im regionalen Landschaftskontext herausbilden, Möglichkeiten eines korrigierenden Umsteuerns offengehalten werden, Fehlentwicklungen erkannt und benannt und durch vorausschauendes Handeln irreversible Schädigungen der Landschaftsfunktionalität vermieden werden (Quast & Wenkel 2004). Die Anpassungslösungen sollten auf einen Zeitraum bis 2030/2040 orientieren, in dem generelle regionale Rückkopplungen des globalen Wandels für den Landnutzungssektor und konkret für die Fokusregion Berlin-Brandenburg klimawandelbedingte kritische Wasserhaushaltentwicklungen zu erwarten sind.

Im märkischen Feuchtgebietsgürtel haben das Oderbruch (und weitere, oberhalb gelegene Polder) gute Entwicklungspotenziale als fruchtbare Agrarstandorte. Die Niedermoorstandorte sollten, soweit eine ausreichende Wasserverfügbarkeit gegeben ist, aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen und als Feuchtgebietsrefugien erhalten werden.

# **Wassermanagement in der Landwirtschaft\***

*Katrin Drastig, Annette Prochnow, Reiner Brunsch*

## ***Problemstellung***

Auf die Landwirtschaft Brandenburgs kommen wachsende Herausforderungen zu: der Klimawandel mit verstärkter (früh-)sommerlicher Trockenheit, ein angespannter Landschaftswasserhaushalt, weltweit zunehmender Nahrungsmittelbedarf sowie Veränderungen bei Nutztierhaltung und -zucht. Innovationen in Hinsicht auf die Produkte, aber vor allem auch die Produktionsprozesse erlangen eine immer größere Bedeutung, um die natürlichen Ressourcen optimal zu nutzen und die Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern.

Da Wasser längerfristig zu einem teuren, weil knappen Gut werden wird, werden sich Investitionen zur Schonung der Ressource innerhalb der Landwirtschaft immer mehr lohnen. Die Erhöhung der Effizienz des Einsatzes von Wasser im System landwirtschaftlicher Betrieb hat dabei in Brandenburg besondere Bedeutung, da die hiesigen Standorte durch leichte Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität geprägt sind. Die Böden könnten bei häufigeren und lang anhaltenden Trockenperioden zukünftig an Ertragsfähigkeit verlieren, sofern kein Beregnungswasser zur Verfügung steht. Um Möglichkeiten zur Verbesserung des Wassermanagements im System landwirtschaftlicher Betrieb darzustellen, ist es nötig, sich intensiv mit Zielgrößen zur Steigerung der Wassereffizienz innerhalb der Teilbereiche Boden, Pflanzen (Ackerbau und Grünlandwirtschaft), Tierhaltung und deren Interaktionen zu befassen.

Drastig et al. (2010) untersuchen diese Maßnahmen in ihren Auswirkungen auf die Wassereffizienz in der Pflanzenproduktion und in der Tierhaltung systematisch.

## ***Maßnahmen zur Steigerung der Wassereffizienz***

Der höchste Wasserbedarf der Pflanzen besteht während der Phase der maximalen Blattbildung und des höchsten Massenzuwaches. So sollte im Juli /August Rübenbeständen ein Drittel des gesamten Jahreswasserbedarfs zur Verfügung stehen (Diepenbrock et al. 2009). Die Wassereffizienz bildet die Beziehung zwischen diesem

---

\* Eine englische umfangreichere Ausfertigung dieses Textes findet sich in Drastig, K., Prochnow, A. & Brunsch, R. (2011): Water for agriculture in Brandenburg (Germany) – Wassermanagement in der Landwirtschaft in Brandenburg (Deutschland). Die Erde 142 (1/2), im Druck.

Wasserbedarf und dem entsprechenden Aufbau von Trockenmasse der Kulturpflanzen ab und wird hier also als Zielgröße im Kontext der Ertragsverbesserung bzw. Verbesserung der Wasserproduktivität verwendet.

Eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden liegt vor, um die Wassereffizienz zu berechnen und zu beschreiben. Das Verhältnis der Biomasse einer Pflanze zum dafür verbrauchten Wasser wird als Transpirations- bzw. Evapotranspirationskoeffizient bezeichnet. Hauptsächlich unterscheiden sich die Herangehensweisen durch die Berechnung auf a) Basis der für den Bestand schwierig zu ermittelnden Transpiration, der Verdunstung durch die Pflanze, oder b) auf Basis der Evapotranspiration unter Einbeziehung der Verdunstung vom Boden. Der Ernte-Index bildet die Beziehung zwischen dem Wasserbedarf und dem Ertrag der Kulturpflanzen ab. Der Wasserbedarf wird in diesem Kontext über die Evapotranspiration bestimmt.

Einen Überblick über die möglichen Maßnahmen im System landwirtschaftlicher Betrieb, die der Steigerung der Wassereffizienz dienen können, gibt Tabelle 8. Prozesswasser ist hierbei Wasser, das zur Herstellung der landwirtschaftlichen Produkte verwendet wird. Der Begriff des *green water* entspricht dem verfügbaren Niederschlag und Bodenwasser im landwirtschaftlichen Produktionssystem.

**Tabelle 8.** Überblick über Maßnahmen im gesamten System landwirtschaftlicher Betrieb zur Steigerung der Wassereffizienz und Verminderung des benötigten Prozesswassers innerhalb der Teilbereiche Boden, Pflanzen und Tierhaltung

| Teilbereich                                  | Boden   | Pflanzen   | Tierhaltung   |
|--|---|--|---|
| Maßnahmen zur Steigerung der Wassereffizienz | <i>Bodenbearbeitung</i>   | <i>Züchtung</i>  | <i>Reduzierung des Tränkwasserbedarfs</i>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufrauen der Oberfläche / Aufbrechen von Krusten</li> <li>• Saatbettbereitung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• trockenheitstolerante Sorten</li> <li>• Sorten mit hohen Transpirationskoeffizienten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelmäßige Wartung</li> <li>• Dimensionierung der Tränkwasseranlagen</li> </ul>   |
|  | <i>Humuswirtschaft</i>  | <i>Säen</i>  | <i>Steigerung der Wassereffizienz der Reinigungsprozesse</i>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausbringen organischer Substanz</li> <li>• Mulchen</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Bestandsdichte</li> <li>• Berücksichtigung der aktuellen Vegetationsperiode</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einweichen</li> <li>• Durchführen von Reinigungsarbeiten mit dem Besen</li> </ul>  |
|  | <i>Brachlandnutzung</i>   | <i>Düngen</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• getrenntes Sammeln, Lagern und Ausbringen des Melk- und Milchhausabwassers</li> </ul>  |
|  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ausreichende Kaliumversorgung</li> <li>• Unterstützung der Wurzelentwicklung</li> </ul>         | <i>Steigerung der Wassereffizienz bei der Kühlung</i>   |
|  |   | <i>Optimierung der Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreislaufführung des Kühlwassers</li> </ul>  |
|  |   | <i>Vermeidung von Konkurrenzen durch Pflanzenschutz bzw. Unkrautvernichtung</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• produktiver Gebrauch des Kühlwassers</li> <li>• Sprühbefeuchtungskühlung nur bis zu einer bestimmten Luftfeuchtigkeit (&lt; 60 %)</li> </ul> |
|  |   | <i>Wassersparende Bewässerung</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• geeignete Düsen und Ventile</li> <li>• Reduzierung wasserbasierter Verfahren</li> </ul>  |
|  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl effizienter Bewässerungsverfahren</li> <li>• Präzisionsbewässerung</li> </ul>           |   |
|  | <i>Wassersparende Lagerung und Verarbeitung von Feldfrüchten durch Kreislaufführung des Wassers</i>                               |  |   |

Für ihre Untersuchung legten Drastig et al. (2010) und Drastig et al. (2011) fünf Zielgrößen zur Steigerung der Wassereffizienz in Anlehnung an Bouman (2007) und Amede et al. (2009) fest. Die aussichtsreichsten Maßnahmen aus Tabelle 8 werden nun diesen fünf Zielgrößen zugeordnet.

- Erhöhung des Transpirationskoeffizienten: Durch den vermehrten Aufbau von Trockenmasse oder Ernteprodukt relativ zum dafür verwendeten Wasser sollte der Transpirationskoeffizient erhöht werden. Beispielsweise können die Vermeidung von Konkurrenzen durch Pflanzenschutzmittel und die damit einhergehende Unkrautvernichtung der Erhöhung des Transpirationskoeffizienten dienen. Auch züchterische Maßnahmen, Düngung sowie ein optimiertes Timing der Blütezeit erscheinen für diese Zielgröße relevant. Das Lockern des Bodens unterstützt die intensive Durchwurzelung durch die Pflanzen und damit ebenfalls die Erhöhung des Transpirationskoeffizienten.
- Zeitliche oder räumliche Vergrößerung des Wasserspeichers: Einer Pflanze sollte ein potenziell vergrößerter Wasserspeicher verfügbar gemacht werden. Humus speichert das Drei- bis Fünffache seines Eigengewichts an Wasser. Durch höhere Humusgehalte wird dementsprechend der potenzielle Wasserspeicher im Boden vergrößert. Eine ausgeprägte Wurzelmasse, die durch Düngung unterstützt wird, ermöglicht der Pflanze einen Zugang zu weiter entfernten Wasserreserven im Boden. Ein gutes Timing der Saat und damit der folgenden Wachstumsphasen ermöglicht den Pflanzen, Wasserreserven optimal, d. h. zum Bedarfszeitpunkt auszunutzen. Die gezielte Züchtung von Sorten, die schnell abreifen und damit nicht der Trockenheit und Hitze im Sommer ausgesetzt sind, wird in diesem Zusammenhang zunehmend relevant. Für eine frühere Keimung ist außerdem eine Züchtung hin zu einer erhöhten Frosttoleranz erforderlich. Zwischenfrüchte und Hauptfrüchte können dann zur Erhöhung der Wassereffizienz beitragen, wenn sie mit einer Pfahlwurzel, wie beispielsweise die Luzerne, ausgestattet sind und damit tiefere Bodenschichten durchbohren und erschließen können. Diese dienen der räumlichen Vergrößerung des Wasserspeichers. Das Wurzeltiefenwachstum der Nachfrüchte kann dadurch angeregt werden, was zur Verbesserung ihrer Wasserversorgung und Trockenmasseproduktion beiträgt, indem die Versickerung gemindert und die Transpiration erhöht wird (Ehlers 1996).
- Erhöhung des Niederschlagswasseranteils am Wasserspeicher: Niederschlagswasser sollte im Boden oder in einem künstlichen Speicher erhalten werden und damit einer späteren Nutzung zur Verfügung stehen. So wird durch eine Speicherung des Boden- und des Niederschlagswassers in einer Brache der *green water*-Anteil am Wasserspeicher erhöht. Auf Sandstandorten stehen Unkrautbeseitigung zur Vermeidung von Konkurrenzen und Erhaltung der Bodenfeuchte im Vordergrund. Falls für eine Bewässerung gespeichertes Niederschlagswasser verwendet wird, kann ebenfalls der *green water*-Anteil am Wasserspeicher erhöht werden.
- Verringerung der nicht über Transpiration auftretenden Wasserverluste: Die sogenannte unproduktive Verdunstung z. B. des Bodenwassers oder durch Unkräuter, durch die keine Trockenmasse von den Kulturpflanzen aufgebaut wird, sollte vermieden werden. Konkurrenzen durch Unkräuter können durch Pflanzenschutzmittel vermieden werden. Auch ein schnell geschlossener, dichter

Pflanzenbestand vermindert die Verdunstung aus dem Boden, ohne den Weg durch die Pflanze. Eine hohe Bestandsdichte durch die schnelle und lückenlose Entwicklung einer Bodenbedeckung und eine tiefe Durchwurzelung beruht auf einer qualitativ hochwertigen Saatbettbereitung und Aussaat. Bei der Saatbettbereitung erfolgt ein Einebnen, Lockern, Krümeln und erforderliches Verdichten des Bodens. Eine lockere Bodenoberfläche, eine gleichmäßige Einsaattiefe und Samen von guter Qualität dienen dem Aufbau eines lückenlosen Bestandes. Der Abfluss der Wassers an der Oberfläche wird als unproduktiver Verlust betrachtet. Evaporierendes Bodenwasser muss allerdings nicht zwangsläufig als unproduktives Wasser interpretiert werden, da die Evapotranspiration für die Pflanze einen Kühleffekt haben kann. Bei hohen Temperaturen und Sonneneinstrahlung ist die Kühlfunktion der Evaporation eine entscheidende Größe. Die Verdunstungskühlung kann auf Böden eine Differenz von über 25 °C ausmachen, hinzu kommt eine Nachhaltewirkung in den Abendstunden. Der Kühleffekt durch Evaporation wird bei einer Beregnung von Kulturen unter Glas und auch für Zierpflanzen genutzt, um diese vor Überhitzungsschäden und damit vor Qualitätsverlusten zu schützen. Dieser Effekt wird auch im Freiland im mediterranen Weinbau genutzt, wiederum um bei großer Hitze Blattschäden zu vermeiden (pers. Mitteilung D. Lütkemöller, Universität Lüneburg, 2009).

- Einsparen von Prozess- und Tränkwasser: Im System landwirtschaftlicher Betriebe tritt Prozesswasser bei der Verarbeitung von Ernteprodukten, bei der Pflanzenproduktion und in der Tierhaltung auf und kann durch unterschiedliche Maßnahmen verringert werden. Durch die Auswahl effizienter Bewässerungsverfahren kann Einfluss auf den Wasserbedarf genommen werden und Prozesswasser eingespart werden. Für die Steigerung der Wassereffizienz beim Tränkwasserbedarf sind Verluste des Wassergebrauchs zu berücksichtigen und möglichst einzuschränken, z.B. durch regelmäßige Wartung des Materials. Durch Einweichen reduziert sich der Prozesswasserbedarf für die Reinigung der Ställe. Besonders wirksam gelingt dies mit stationären Sprühanlagen. Dazu kann auch eine Sprühkühlung durch Einsatz entsprechender Düsen genutzt werden. Nach dem Einweichen erfolgt die Reinigung mit dem Hochdruckreiniger (KTBL 2009). Selbst wenn eine regelmäßige Reinigung und Desinfizierung des Tierhaltungsbereiches mit dem Wasserstrahl empfehlenswert ist (KTBL 2008), kann zur Wassereinsparung für die täglichen Reinigungsarbeiten in erster Linie mit dem Besen gearbeitet werden (Hörnig & Scherping 1993). Durch eine Kreislaufführung von Wasser, das zur Evaporationskühlung der Ställe eingesetzt wird, können Einsparungen erzielt werden. Gut gewartete Tränkwasseranlagen ohne Leckagen vermindern Wasserverluste. Zur Abkühlung des Milchtanks wird Wasser verwendet. Um Prozesswasser einzusparen, darf dieses Wasser nicht ins normale Regenwassernetz umgeleitet werden, sondern sollte über eine Kreislaufführung für Reinigungsarbeiten (Melkstand, Aufzuchtbereich) und als Tränkwasser benutzt werden oder durch ein geschlossenes Kühlsystem zur Wärmerückgewinnung dienen (Hörnig & Scherping 1993). Der Einsatz wasserbasierter Kühlungsverfahren könnte bei Stallneubauten und bei der Rekonstruktion von Altbauten reduziert werden. So könnte bei der Frischluftansaugung der Einsatz

von Erdwärmetauschern erfolgen. Andere einfache Maßnahmen können bereits beim Bau dazu beitragen, den Kühlungsbedarf zu reduzieren.

Für eine systematische und ausführlichere Darstellung aller Maßnahmen und der entsprechenden hydrologischen Prozesse sei auf Drastig et al. (2010) und Drastig et al. (2011) verwiesen.

### ***Ausblick***

Wasser ist bei vielen Ackerbausystemen der limitierende Faktor. Welche konkreten Maßnahmen hieraus für Brandenburger landwirtschaftliche Betriebe abzuleiten sind, lässt sich nicht pauschal beantworten. Es ist nicht möglich, Aussagen zu einem „besser“ oder „schlechter“ der verschiedenen Maßnahmen zur Steigerung der Wassereffizienz zu treffen. Es ist immer das gesamte System landwirtschaftlicher Betrieb in Betracht zu ziehen. Bodenbearbeitung und Bodenbestellung, Aussaat, Fruchtarten und Fruchtfolgen und Bewässerung müssen an die Bodenart, die Grundwasserverhältnisse, die Witterung und die aktuelle Marktlage angepasst werden. Eine standortspezifische Bodenbearbeitung und standortspezifische Bodenbearbeitungsfolgen die auch an die aktuelle Witterung angepasst werden, können die Vielfalt der Brandenburger Ackerbausysteme effektiver berücksichtigen.

Für die Entwicklung eines nachhaltigen Wassermanagements in Brandenburg lassen sich folgende Empfehlungen aussprechen:

Um belastbare Ergebnisse für standortspezifische Maßnahmen zu erhalten, muss die Weiterführung der Brandenburger Dauerversuche sichergestellt sein. Die Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin unterhält beispielsweise sechs Dauerfeldversuche, die in den 1920er- und 1930er-Jahren angelegt wurden. Wie der Ertrag des Bodens verbessert und wie die natürliche Ressource Boden bewahrt werden kann, steht dabei im Mittelpunkt des Interesses.

Das Prüfen und Übernehmen von standortspezifischen Anpassungsstrategien von landwirtschaftlichen Betrieben aus verschiedenen Ländern (Deutschland, Südafrika, Australien und USA), mit denen der Wasserknappheit begegnet wird, kann für Brandenburger Verhältnisse nützlich sein. Ein Beispiel für eine derartige Sammlung stellt das internationale Netzwerk „agri benchmark“ dar, das vom Institut für Betriebswirtschaft des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) und der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) koordiniert wird.

Eine Balance zwischen Flexibilität und einem gewissen Maß an Planungssicherheit für landwirtschaftliche Betriebe sollte geschaffen werden. Zu dieser Planungssicherheit könnte die Unterstützung durch Mehrgefahrenversicherungen (Gaul 2009) zählen sowie das Dürrehilfsprogramm, das heute schon Anwendung findet.

Eine Analyse des Trockenheitsrisikos in Brandenburg und Berlin ist mithilfe einer Modellierung unter Verwendung lokaler Daten und kulturspezifischer Parameter analog zum Verfahren von Fuhrer & Jasper (2009) möglich. Auf Daten dieser Art könnten eine Trockenheitsrisikokarte, die über den Wasserstress der Kulturpflanzen berechnet wird, und eine darauf aufbauende Maßnahmenkarte für Brandenburger

Landwirte/-wirtinnen entwickelt werden. Ähnlich hydrologisch gleich wirkenden Einheiten ließen sich gleich wirkende Agrarsystemeinheiten mit standortspezifischer Nutzung ableiten. Interessant scheint auch das Einbeziehen von Wassereffizienzen in eine derartige räumliche Analyse.

Die angewandte Agrarforschung muss ihren Beitrag zu einer wettbewerbsfähigen und ressourcenschonenden Landwirtschaft in Brandenburg leisten. Bei dem Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis sollten die Landwirte/-wirtinnen wissenschaftlich begleitet werden, um die Maßnahmen im Prozess anzupassen.

# **Waldbewirtschaftung unter den Bedingungen des Klimawandels in Brandenburg**

*Ralf Kätzel, Klaus Höppner*

## ***Ausgangsbedingungen***

Nach den Auswertungen der regionalisierten Klimamodelle gehört das nordostdeutsche Tiefland zu den am stärksten vom Klimawandel betroffenen Risikogebieten Deutschlands (Zebisch et al. 2005). Bereits jetzt ist das Klima in Brandenburg trocken, im Nordwesten ozeanisch und im Südosten kontinental geprägt. Zwischen den Jahreszeiten und den Regionen treten relativ große Temperaturschwankungen auf. Das Jahresmittel der Lufttemperatur hat im Zeitraum 1951 bis 2000 zwischen 0,7 K und 1,5 K zugenommen (Gerstengarbe et al. 2003). Im gleichen Zeitraum ist für die Sommermonate ein Rückgang des Niederschlags zu verzeichnen, im Winter dagegen eine Zunahme (Wechsung et al. 2009).

Land- und Forstwirtschaft, deren Produktion unmittelbar von Klimafaktoren wie Temperatur und Wasserangebot sowie von klimabeeinflussten Sekundärfaktoren abhängt, sind von Klimaveränderungen besonders betroffen. Aufgrund der langen Produktionszeiträume, der eingeschränkten Reaktionsmöglichkeiten, der Naturnähe und der Vielzahl unterschiedlicher und teilweise konkurrierender Zielstellungen (Holzproduktion, Naturschutz- und Erholungsfunktion) sind die Handlungsspielräume der Waldbewirtschaftung dabei weitaus geringer als in der Landwirtschaft. Angesichts der ökologischen und ökonomischen Bedeutung von Wald- und Forstwirtschaft sind die Gefährdungspotenziale durch Klimaveränderungen zu bewerten und Anpassungsstrategien zu entwickeln. Nach gegenwärtigem Wissensstand können diese Betrachtungen nur für wenige Jahrzehnte, die kaum einer halben Waldgeneration entsprechen, im Voraus erfolgen. Diese kurze Zeitspanne muss angesichts der zeitlichen Dimension der Waldentwicklung unbefriedigend bleiben.

Neben den klimatischen und bodenbedingten Besonderheiten des nordostdeutschen Tieflandes wird die Anfälligkeit der Wälder vor allem durch die Waldstruktur bestimmt. Rechtzeitig einsetzende, vorausschauende und variantenreiche Maßnahmen der Risikominderung sind daher dringend erforderlich.

## ***Bewertung der Risikopotenziale***

Ein effizientes Klimawandel-Risikomanagement erfordert, die Anfälligkeit von Waldökosystemen gegenüber Klimastressfaktoren zu bewerten, die sich aus der

Stärke der Einwirkung, der Stabilität des Systems und dessen Anpassungsfähigkeit ergibt. Aus der Vielzahl der Konzepte zur künftigen Baumartenwahl sollen drei besonders herausgestellt werden.

Dies ist zum einen das Konzept der klimaplastischen Wälder (Jenssen 2009). Danach ist die Klimaplastizität eines Waldbestandes dann besonders groß, wenn sich die ökologischen Amplituden der Baumarten überlappen und eine Vergesellschaftung ermöglichen. Jede Baumart sollte jedoch unterschiedliche Bereiche möglicher Klimaszenarien abdecken. Natürliche Vorbilder sind Linden-Hainbuchen- und Eichen-Buchenwälder mit unterschiedlichen Mischungsanteilen.

Ein weiteres Konzept ist die Bewertung der Baumarten auf Basis von „Klimahüllen“ (Kölling 2007). „Klimahüllen“ stellen die Vorkommenshäufigkeit jeder Baumart in der Kombination von Jahresmitteltemperatur und Jahresniederschlagssumme dar. Danach ist die Anfälligkeit einer Baumart gegenüber einer Änderung von Niederschlag und Temperatur gering, wenn sich die Baumart am konkreten Standort möglichst weit von ihrem „ökologischen Nischenrand“ entfernt befindet und damit der *survival buffer* möglichst groß ist.

Von diesen beiden Konzepten unterscheiden sich die Bewertungskategorien von Roloff & Grundmann (2008), da sie zusätzlich die Stresstoleranz und Standortangepasstheit von Gehölzen nach dem jetzigen Kenntnisstand mit einbeziehen.

Alle drei Ansätze für eine zukunftsorientierte Baumartenwahl beruhen auf der Einschätzung der aktuellen Angepasstheit als evolutives Ergebnis früherer und aktueller Umweltbedingungen. Unberücksichtigt bleiben dagegen die Variabilität der Angepasstheit einer Baumart innerhalb ihres Verbreitungsgebiets und die dynamische, evolutive Anpassungsfähigkeit durch Mutation, genetische Rekombination und Selektion. Dynamische Ansätze berücksichtigen daher die Änderung der genetischen Reaktionsnorm der Individuen und Populationen in Raum und Zeit. Evolutionäre Prozesse begünstigen bei erheblichen Umweltveränderungen Populationen, die ihre genetischen Reaktionsnormen schnell variieren können. Bei kurzfristigen Umweltveränderungen sind Typen im Vorteil, die sich mit minimalem Aufwand und hoher Individuenzahl vermehren. Vor diesem Hintergrund soll nachfolgend das Anpassungspotenzial einiger wichtiger Wirtschaftsbaumarten des Landes Brandenburg beleuchtet werden.

Seit Beginn der Waldzustandserhebung zeigt die Wald-Kiefer als die häufigste Baumart des Landes Brandenburg trotz periodisch regionaler Nadelverluste durch Insekten die geringste Kronenverlichtung (MIL 2010). Im Vergleich zu allen anderen Baumarten weist sie die höchste Anpassungstoleranz gegenüber Sommertrockenheit und warmen Wintern auf. Dennoch wird die Kiefer bei höheren Temperaturen und permanent wiederkehrenden Trockenperioden vermehrt mit Absterbeerscheinungen reagieren. Die eigentliche Gefährdung der Kiefer besteht in ihrer Anfälligkeit gegenüber nadelfressenden und holzbrütenden Insekten. Die Wald-Kiefer wird aufgrund ihrer hohen Angepasstheit und Anpassungsfähigkeit jedoch auch in den nächsten Jahrzehnten das Rückgrat der brandenburgischen Forst- und Holzwirtschaft bleiben.

Die beiden heimischen Eichenarten Trauben- und Stiel-Eiche gehören hinsichtlich ihrer Standortansprüche zu den Zukunftsbaumarten, die im Rahmen des

Waldumbaus besonders gefördert werden. Aktuell liegt ihr Anteil bei ca. 5 % der Gesamtwaldfläche. Der Anteil wird jedoch ansteigen, da Kiefernreinbestände in den vergangenen zehn Jahren großflächig mit Eichen gemischt wurden. Kritisch zu betrachten ist der hohe Anteil geschädigter Eichen mit Kronenverlichtung, Feinreissigverlust, Schleimfluss etc. Seit mehr als zwei Jahrzehnten gehören die Eichen zu den am meisten geschädigten Baumarten in Europa. Allerdings zeigen sie in Untersuchungen im Gegensatz zur Kiefer keine zunehmende Klimasensitivität. Die Eiche profitiert im Wachstum von starken Juniniederschlägen und von kühlen Sommern (Schröder 2009).

Der Verbreitungsschwerpunkt der Rot-Buche liegt im Norden Brandenburgs. Seit mehr als 30 Jahren werden Kiefernbestände mit der schattentoleranten Buche unterbaut, sodass ihr Anteil zunimmt. Die Buche zählt zu den Baumarten, die an feuchteren und nährstoffreicheren Standorten ihre größte Konkurrenzkraft entwickelt, sodass ihre Anpassungs- und Überlebenswahrscheinlichkeit unter den Bedingungen des Klimawandels häufig kritisch gesehen wird. In unbewirtschafteten Naturwäldern findet zurzeit auch auf trockeneren Standorten eine zunehmende Buchennaturverjüngung statt. Möglicherweise wurde die Anpassungsfähigkeit der Buche also in der Vergangenheit unterschätzt.

Brandenburg hat die mit Abstand größte Robinienfläche Deutschlands. Aufgrund ihrer erfolgreichen Ausbreitungsstrategie (Wurzelbrut, Stockausschlag, Samen) wird ihr Anteil künftig weiter zunehmen. Entsprechend ihrer ökophysiologischen Amplitude ist die Robinie insbesondere für den Anbau auf nährstoffarmen und trockenen Böden geeignet. Die Bedeutung der Baumart könnte angesichts der prognostizierten Klimaänderungen sowohl für die stoffliche als auch für die energetische Nutzung zunehmen.

Die Anpassungstoleranz der Weichlaubholzarten Weide, Birke und Pappel gegenüber Witterungsextremen ist bisher nur unzureichend untersucht. Als Pionierbaumarten mit hohem Verjüngungspotenzial, hohem Lichtanspruch und schnellem Wachstum besitzen einige Arten eine vergleichsweise hohe Anpassungsfähigkeit. Daher könnte der Anteil dieser Arten nicht nur auf landwirtschaftlichen Energieholzplantagen, sondern auch im Wald ansteigen.

Die künftig zunehmende Bedeutung weiterer wärmeliebender und trockenheitstoleranter Baumarten wird diskutiert. Ein Problem dieser Baumarten ist jedoch die verminderte Frosttoleranz. Auch wenn die Häufigkeit von Frostereignissen künftig abnehmen wird, so ist auch weiterhin mit singulären Winter- und Spätfrösten zu rechnen. Hier müssten frosttolerante Sorten durch Selektionszüchtung gewonnen werden. Bis dahin werden Gehölze dieser Arten ein Nischenprodukt bleiben.

### ***Anpassungsstrategien bei der Waldbewirtschaftung***

Wie eingangs dargestellt, fokussiert sich eine entscheidende Anpassungsstrategie auf die gezielte Förderung bestimmter Baumarten und Herkünfte. Bereits Anfang der 1990er-Jahre begann in Brandenburg das „Waldumbauprogramm“. Ziel des Waldumbaus ist es, gleichaltrige Kiefernreinbestände in strukturreiche Kiefern-

Laubholz-Mischbestände umzuwandeln. Mit der Diversifizierung von Baumarten sollen die Risiken durch Schadereignisse vermindert werden. Allein die geplante Vermehrung der Eichen(misch)wälder ist eine mehrere Jahrzehnte dauernde Schwerpunktaufgabe.

Die aktuelle Klimadiskussion hat bisher nicht zu einer Veränderung in der Baumartenwahl für die Zielbestockungen des Waldumbaus geführt. Hierfür gibt es mehrere Ursachen: Waldbewirtschaftung ist im Gegensatz zur Landwirtschaft auf langfristige Bewirtschaftungszeiträume ausgerichtet. Langlebige Waldbaumarten weisen aufgrund ihrer in evolutiven Zeiträumen erworbenen physiologischen Anpassungsfähigkeit eine hohe Elastizität gegenüber Umweltveränderungen auf. Angesichts der vorliegenden Klimaszenarien stehen derzeit keine Waldbaumarten für einen großflächigen Anbau zur Verfügung, die besser geeignet sind, Klimaextremereignisse zu überstehen, und damit kurzfristige, tiefgreifende Veränderungen mit langfristigen Folgewirkungen rechtfertigen.

Die Mehrzahl künftiger Bestandszieltypen ist auf Mischwälder ausgerichtet. Dabei sind gruppenweise Mischungen wirtschaftlicher, sicherer und wirksamer als Einzelbaumartenmischungen (Bäucker et al. 2007). Horizontale Mischungsformen gewährleisten die Pufferwirkung beim Zuwachs, mindern die interspezifischen Konkurrenzprobleme und verbessern das Mikroklima. Die Erhaltung von alten und sterbenden Bäumen in Biogruppen fördert die Nischenvielfalt, schafft Lebensräume für zoophage Nützlinge und stabilisiert den Gesamtbestand. Eine rechtzeitige Kronenpflege fördert Zuwachs, Blüte und Samenbildung sowie eine optimierte Wurzelentwicklung.

Die genetische Variabilität ist die entscheidende Sicherheitsreserve bei einer Selektion durch extreme Klimafaktoren (Kätzel 2009). Für die Forstpraxis bedeutet dies ein langfristiges Vorgehen bei der natürlichen Verjüngung von Beständen. Auf der Grundlage von Erfahrungen aus zurückliegenden Störungsereignissen oder ggf. anhand genetischer Inventuren ist zu prüfen, ob reproduzierende Bestände als Saatgutquelle für die natürliche Verjüngung und damit für die Zukunftsfähigkeit der Wälder geeignet sind. Möglicherweise kommt künstlichen Verjüngungsmaßnahmen mit zertifizierten Forstpflanzen aus genetisch charakterisierten Erntebeständen zukünftig eine größere Bedeutung zu. Allerdings ist zunehmend mit Schwankungen in der Saatgutversorgung zu rechnen, da die Saatgutproduktion von Witterungsextremen negativ beeinflusst wird. Dies betrifft insbesondere die kritische Phase der Blütenbildung, Wassermangel in der Reifephase sowie die zunehmende Gefahr von Insektenschäden und Infektionen des Saatgutes. Bei einer künstlichen Verjüngung müssen bereits bei der Saatgutgewinnung alle Maßnahmen berücksichtigt werden, die eine hohe genetische Vielfalt gewährleisten.

Die meisten Ergebnisse aus physiologischen Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass die Anpassungsfähigkeit der Waldbäume an jeweils einen Stressfaktor meist höher ist als erwartet. Kritisch wird es dann, wenn zu extremen Klimafaktoren weitere Stressfaktoren wie Insektenfraß, Versauerung, Immissionen, Bodenverdichtung oder Grundwasserabsenkungen hinzukommen. Im Rahmen der Risikovorsorge müssen deshalb zusätzliche Belastungen vermieden werden. So müssten Pflanzenschutzmittel eher oder häufiger appliziert werden als zurzeit üblich (Möller 2009).

Zusätzliche Schadfaktoren sind überhöhte Schalenwildbestände. Wenn sich im Zuge von Ausleseprozessen stresstolerantere Baumindividuen herausbilden, diese jedoch frühzeitig von Pflanzenfressern oder durch Waldbrand vernichtet werden, sind die biologischen Selbstregulationsprozesse erfolglos.

Um forstwirtschaftliche Risiken und Schäden, die sich aus diesen Veränderungen ergeben könnten, rechtzeitig zu erkennen und gegebenenfalls zu mindern, ist ein modernes forstliches Monitoring mit starkem regionalem Bezug unverzichtbar. Dies gilt sowohl für die Frühindikation von Stressreaktionen als auch für die Erfassung von irreversiblen Schäden (Kätzel & Kallweit 2008). Um Gefahrenpotenziale früh zu erkennen, müssen genetische und waldwachstumskundliche Reaktionen künftig stärker mit Untersuchungen zu anpassungsrelevanten Merkmalen verbunden werden (Kätzel et al. 2005).

Mit der Häufung von Klimaextremen wird die Notwendigkeit bestehen, die Flexibilität der Waldbewirtschaftung zu erhöhen. Dabei ist die Senkung der Durchmesserzielstärken eine Maßnahme, um die Risiken langfristiger Produktionszeiträume zu mindern. Mit dem zunehmenden Anteil schnellwachsender Pioniergehölze sowie dem vorzeitigen Absterben langlebiger Bäume wird dieser Prozess beschleunigt werden.

Die Verfügbarkeit von Bodenwasser während der Vegetationsperiode wird maßgeblich über Ertrag und Überleben entscheiden. Deshalb muss der Verlust von Wasser über oberirdische Wasserleiter verhindert und die Wasserspeicherung etwa in Waldmooren genutzt werden. Die Einbringung von Laubbaumarten soll auch die Grundwasserneubildung für alle Landnutzungsarten verbessern (Müller et al. 2007).

### ***Schlussfolgerungen***

Klimaänderungen und insbesondere Witterungsextreme sind einschneidende Selektionsfaktoren, die künftig die Waldstruktur mitsamt der Baumartenzusammensetzung regional differenziert verändern werden. Selektiv wirksame Witterungsextreme verschieben auf natürliche Weise Konkurrenzbeziehungen und führen zu „Verlierern“, aber auch zu „Gewinnern“ auf allen ökosystemaren Ebenen. Dies wird sich mittelfristig negativ auf den waldwirtschaftlichen Ertrag auswirken.

Unter dem Gesichtspunkt der physiologischen Überlebensfähigkeit verfügen gerade langlebige Baumarten über effiziente Anpassungsreaktionen gegenüber Witterungsstress. Daher ist aus heutiger Sicht für den Zeitraum der vorgelegten Klimaszenarien bis 2070 nicht davon auszugehen, dass sich im nordostdeutschen Raum das Ökosystem Wald in eine Waldsteppe wandeln wird. Für diesen Zeitraum basieren gegenwärtig alle Empfehlungen zur Baumarteneignung und zum Risikomanagement auf einer gutachtlichen Bewertung. Langfristige Strategien brauchen ein „quantitatives Assessment“ der Anpassungskapazität. Doch bislang fehlt es hier an belastbaren Forschungsergebnissen.

# **Erzeugung und Verbrauch von landwirtschaftlichen Produkten aus Brandenburg in Berlin\***

*Hans Kögl*

## ***Einführung und Zielsetzung***

Regionale Nahrungsmittel genießen in der Öffentlichkeit ein positives Image, tragen sie doch mit dazu bei, lange Transportwege zu vermeiden und die natürlichen Ressourcen zu schonen. Welchen Anteil regionale Nahrungsmittel heute am gesamten Nahrungsmittelverbrauch haben, ist allerdings kaum bekannt, weil es sowohl an einer einheitlichen Kennzeichnung als auch an einem einheitlichen Verständnis von Regionalität fehlt. Dies macht es schwierig, gezielt Maßnahmen anzubieten, um den Anteil von regionalen Nahrungsmitteln am gesamten Markt für Lebensmittel zu steigern.

Vor diesem Hintergrund will der vorliegende Beitrag für die Fokusregion Berlin-Brandenburg den Anteil der aus dem Land Brandenburg stammenden landwirtschaftlichen Produkte am Berliner Markt für Nahrungsmittel ermitteln, Ursachen einer möglichen regionalen Unterversorgung benennen und Vorschläge zur Steigerung des Verbrauchs von Produkten aus Brandenburg in Berlin unterbreiten.

Grundlage sind wissenschaftliche Studien, Statistiken zur Land- und Ernährungswirtschaft und Interviews mit Marktexperten aus den Metropolregionen Berlin, Hamburg und München. Methodisch kommt hauptsächlich das Konzept der Versorgungsbilanz zur Anwendung, das auch die amtliche Statistik einsetzt, um auf nationaler Ebene den Grad der Versorgung mit einheimischen Nahrungsmitteln zu bestimmen (BLE 2008; BMELV 2009a).

## ***Messung der Versorgungslage von Berlin mit regionalen Nahrungsmitteln***

Die Versorgung Berlins aus dem Brandenburger Umland entspricht insofern dem Verständnis eines „regionalen Nahrungsmittelsystems“<sup>1</sup>, als die dafür notwendigen

---

\* Der Beitrag basiert auf der Studie „Potenziale der Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten aus Brandenburg in Berlin“, die im Auftrag der interdisziplinären Arbeitsgruppe „Globaler Wandel – Regionaler Wandel“ der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften erstellt wurde (Kögl 2010).

<sup>1</sup> Zum Begriff der „Regionalität“ von Nahrungsmitteln siehe Demmeler (2008) und Kögl & Tietze (2010).

Transportwege nicht über einen Radius von etwa 100 km zum Berliner Zentrum hinausgehen. Dabei wird hier unterstellt, dass von dieser Fläche auch die Brandenburger Bevölkerung mit zu versorgen ist. Tatsächlich liegen aber über die Herkunft der in dieser Region verbrauchten Nahrungsmittel so gut wie keine statistischen Informationen vor (Gurrath 2008). Rückschlüsse auf die regionale Versorgung Berlins lassen sich höchstens indirekt aus der Entwicklung des Berliner Marktes für Bioprodukte ziehen (Nölting & Boekmann 2005). Der Zusammenhang dieser beiden Produktkategorien wurde auch in Interviews mit Marktakteuren bestätigt.<sup>2</sup> Danach läge der Anteil von ausdrücklich als regional bezeichneten Nahrungsmitteln noch deutlich unter dem der Bioprodukte, der für Berlin auf 8 bis 9 % geschätzt wird. Eine Verbesserung der Informationslage könnte durch eine genauere Erhebung der Warenströme zwischen Berlin und dem Brandenburger Umland erreicht werden, wie sie zum Beispiel von Ahnsehl et al. (1996) für die Warenlieferungen aus Mecklenburg-Vorpommern nach Berlin vorgenommen wurde.

Einen Anhaltspunkt für die regionale Versorgung erhält man durch die Bilanzierung von regionalem Aufkommen und regionaler Verwendung von Nahrungsmitteln.<sup>3</sup> Dabei muss mangels besserer Information unterstellt werden, dass der Nahrungsmittelkonsum der Berliner Bevölkerung dem bundesdeutschen Warenkorb entspricht.<sup>4</sup> Zur Messung der Produktmengen wird eine Umrechnung in Getreideeinheiten (GE) vorgenommen (Becker 1988), um so eine gemeinsame Bezugsgröße für Erzeugung und Verwendung zu haben.

Addiert man zunächst Erzeugung und Verwendung über alle Produktkategorien zusammen, dann zeigt sich, dass die landwirtschaftlichen Ressourcen Berlin-Brandenburgs (ca. 1,33 Mio. ha) im Mittel der Jahre 2005 bis 2007 ausreichen, um den Gesamtbedarf der ansässigen Bevölkerung (ca. 5,95 Mio. Menschen) zu 93 % zu decken (Abb. 26, erste Säule). Der regionale Versorgungsgrad liegt flächenbedingt geringfügig über dem Bundesdurchschnitt, obgleich die Flächenproduktivität Berlin-Brandenburgs (45,9 GE/ha) deutlich niedriger ist als im Bundesdurchschnitt (ca. 62 dt GE/ha; BMELV 2009a: 151). Je Kopf werden somit 0,24 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LF) benötigt. Diese Zahlen beruhen auf den derzeit üblichen Produktionsstandards und damit auch auf einem nicht unerheblichen Einsatz von fossilen Energieträgern und Wasser. Insofern erhebt sich auch für Brandenburg die Frage, wie sich das regionale Lieferpotenzial verändert, wenn die Intensität der Produktion infolge einer allgemeinen Ressourcenverknappung sinken würde (Grünewald 2010).

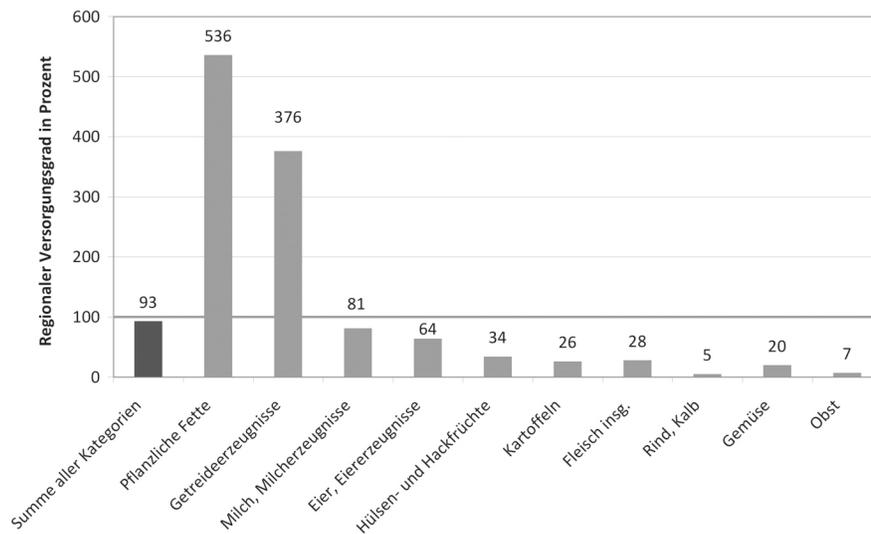
Ein methodischer Ansatz zur Berücksichtigung der langfristigen Tragfähigkeit der natürlichen Ressourcen ist der „ökologische Fußabdruck“ (Wackernagel & Rees 1997), der ebenfalls das Konsumniveau einer Gesellschaft anhand des Flächenverbrauchs misst. Für München berechnet Treffny (2003) je Kopf der Bevölkerung ei-

---

<sup>2</sup> Die Interviews wurden Anfang des Jahres 2010 mit pro agro, der Berliner Firma Perschke, F. Schreiber, vormals BioCompany, und dem Bayerischen Bauernverband geführt.

<sup>3</sup> Wegen fehlender Angaben zum überregionalen Handel, zu Bestandsveränderungen usw. kann nicht der Genauigkeitsgrad der amtlichen Versorgungsbilanzen erreicht werden.

<sup>4</sup> Der Warenkorb wird hier noch um die Produktgruppen reduziert, die in Deutschland aus klimatischen Gründen nicht erzeugt werden können.



**Abb. 26.** Erzeugung und Verbrauch der wichtigsten Nahrungsmittel in Berlin-Brandenburg, gemessen durch den regionalen Selbstversorgungsgrad (Quelle: Amt für Statistik Berlin Brandenburg und eigene Berechnungen)

nen Flächenbedarf für Ernährung von 0,81 ha; für die Berliner Bevölkerung ermittelt Schnauss (2001) einen Flächenbedarf von 1,66 ha je Kopf. Die beachtlichen Unterschiede zwischen den Flächenbedarfswerten von Berlin und München einerseits und zwischen den hier für Berlin genannten Zahlen (0,24 und 1,66 ha LF) andererseits sind sicherlich auf die unterschiedliche Methodik der Verbrauchserfassung und auf den Einfluss der Flächenproduktivität auf den Flächenbedarf zurückzuführen.

Eine tiefere Einsicht in das Versorgungspotenzial von Berlin-Brandenburg erhält man, wenn man regionale Erzeugung und Verbrauch gesondert nach Produktkategorien gegenüberstellt.

Diese Selbstversorgungsgrade stellen die Obergrenze für die regionale Versorgung dar. Während bei Getreide und pflanzlichen Ölen und Fetten hohe Überschüsse zu erkennen sind (Selbstversorgungsgrade  $> 300\%$ ), liegt gerade bei denjenigen Produkten, die gemeinhin als besonders attraktiv für die regionale Vermarktung gelten, also frische und häufig auch wenig verarbeitete Nahrungsmittel (vgl. Kögl & Tietze 2010), eine deutliche regionale Unterversorgung vor.

### ***Ursachen für eine mögliche Unterversorgung mit regionalen Nahrungsmitteln in Berlin***

Die Ursachen für die teilweise Unterversorgung können grundsätzlich auf allen Abschnitten des Weges liegen, den die Produkte vom Erzeuger bis zum Verbraucher zurücklegen. Diese Abschnitte lassen sich vereinfachend unterteilen in Erzeugung, Verarbeitung und Handel.

### Hemmnisse auf der Erzeugerstufe

Auf der Erzeugerstufe fällt Brandenburg nicht nur durch eine unterdurchschnittliche Bodenproduktivität auf, sondern auch durch eine um 45 % geringere monetäre Wertschöpfung je Hektar (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2009). Daraus auf einen allgemeinen wirtschaftlichen Nachteil der Landwirtschaft in Berlin-Brandenburg zu schließen wäre jedoch verfehlt, wie ein Blick auf die einzelbetrieblichen Erfolgswerte in der Tabelle 9 zeigt. Denn nur in Brandenburg und den übrigen neuen Bundesländern erreichten die landwirtschaftlichen Betriebe im Landesdurchschnitt der Jahre 2007 bis 2009 eine Nettowertschöpfung, die alle eingesetzten Produktionsfaktoren entlohnen kann (Wertschöpfungsrentabilität > 100 %). Die wirtschaftlich überdurchschnittlich gute Lage der Brandenburger Betriebe wird auch durch die übrigen Zahlen der Tabelle bestätigt.

**Tabelle 9.** Vergleich von Kennzahlen landwirtschaftlicher Haupterwerbsbetriebe im Durchschnitt aller Betriebsformen und Größenklassen (Quelle: BMELV 2009b, Ergebnisse der Testbetriebe nach Bundesländern).

| Kennzahl                       | Brandenburg | Deutschland |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| Gesamtkapitalrentabilität [%]  | 4,6         | 0,6         |
| Eigenkapitalrentabilität [%]   | 5,9         | -0,1        |
| Gesamtarbeitssertrag [€/AK]    | 24.228      | 14.591      |
| Betriebseinkommen [€]          | 109.633     | 62.128      |
| Wertschöpfungsrentabilität [%] | 105,0       | 75,8        |

Die Entscheidungen für das derzeit angebotene Sortiment – das sind vor allem arbeitsexensive Kulturen wie Getreide und Ölsaaten und vertikal integrierbare Produkte wie Eier und Geflügel – waren somit für den durchschnittlichen Erzeuger in Brandenburg auch wirtschaftlich sinnvoll. Diese Produktpalette erleichtert es ihm offensichtlich, sich in der Produktion zu spezialisieren, ökonomische Skaleneffekte auszuschöpfen und in Zusammenarbeit mit der ersten Verarbeitungsstufe und dem Erfassungshandel die absatzwirtschaftlichen Aufgaben effizient und risikomindernd zu lösen.<sup>5</sup>

Diese Beobachtungen und Überlegungen lassen den Schluss zu, dass in Brandenburg derzeit von der Erzeugerebene wohl keine starken Impulse ausgehen, die in Zukunft ein verstärktes Angebot an regionalen Produkten auf dem Berliner Markt erwarten lassen.

<sup>5</sup> Ein zusätzliches Risiko dürften auch hier die langfristigen Klimaveränderungen in Brandenburg bedeuten (vgl. dazu Grünewald 2010), die gerade im intensiven Gemüseanbau die Kosten der Wasserversorgung erhöhen werden; die erforderlichen Investitionen dafür sind so hoch, dass sie kaum von einem einzelnen Betrieb geleistet werden können.

### **Hemmnisse auf der Verarbeitungsstufe**

Der Hintergrund der Ernährungswirtschaft in Berlin-Brandenburg kann in aller Kürze wie folgt charakterisiert werden:

- unterdurchschnittliche Industriedichte in Brandenburg gegenüber dem Bundesgebiet (MWE 2009),
- abnehmende Zahl der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe bei steigendem Umsatz je Unternehmen (Amt für Statistik Berlin Brandenburg),
- relativ hoher Anteil an Verarbeitungsbetrieben für die „typischen“ Regionalprodukte: Back- und Dauerwaren 44 %, Fleischer 25 %, Obst, Gemüse und Säfte 5 % (Amt für Statistik Berlin Brandenburg)

Welche Rolle die Ernährungswirtschaft Berlin-Brandenburgs im Kontext eines verstärkten Angebots an regionalen Produkten auf dem Berliner Markt spielt, ist im Rahmen dieses Beitrags nicht leicht zu beurteilen (vgl. auch Schubert 2007: 13–16). Eine Ursache dafür ist die, verglichen mit der Erzeugerstufe, deutlich schlechtere Datenlage (MWE 2009). Von den befragten Akteuren wurden auch keine für regionale Produkte spezifischen Defizite herausgestellt, außer einer etwas geringen Innovationsneigung. Aus der politischen Perspektive kann die Situation des Ernährungsgewerbes in Brandenburg als gut bezeichnet werden, da es eines der 16 Branchenkompetenzfelder des Landes Brandenburg ist (MWE 2009). Negative Tendenzen können aber dadurch entstehen, dass auf der ersten Verarbeitungsstufe (z. B. Schlachtung, Vermahlung und teilweise auch Molkereien) kostenbedingt mit einer weiteren Unternehmenskonzentration und damit unter Umständen auch mit einer weiteren Ausdünnung der Betriebsstandorte zu rechnen ist (vgl. dazu BMELV 2009a: 294–296). Abhilfe kann, von staatlichen Eingriffen abgesehen, eine Steigerung der regionalen Produktionsmengen schaffen, was der Industrie die Ausschöpfung von größenbedingten Kostenvorteilen erlaubt, oder der Umstieg auf kleinere, qualitätsorientierte Verarbeitungseinheiten, die sogenannten Manufakturen.

### **Hemmnisse auf der Handelsstufe**

Ein wesentliches Kennzeichen des Handels mit Nahrungsmitteln ist die zunehmende Konzentration des Einkaufs in Supermärkten und Discountgeschäften (BMELV 2009a: 304, 308; Schubert 2007: 17–20), auf die heute fast 80 % des gesamten Umsatzes an Lebensmitteln entfallen. Diese Entwicklung hat auch das Bio-Segment nicht verschont und dürfte ebenso für den Absatz von Produkten mit regional definierter Herkunft von Bedeutung sein. Bei der Untersuchung von Hemmfaktoren auf der Handelsstufe ist es sinnvoll, zwischen verschiedenen Vermarktungskonzepten zu unterscheiden:

- regionale Nahrungsmittelversorgung als historisch gewachsenes Konzept, das auch heute noch in Form von Direktvermarktung auf dem Hof oder dem Wochenmarkt existiert,

- regionale Nahrungsmittelvermarktung durch den Lebensmitteleinzelhandel, was ein gezieltes Marketing voraussetzt, damit die Produkte im großen Angebot auch als „regional“ wahrgenommen werden,
- regionale Spezialitäten im Absatz über den Naturkostfachhandel oder andere ausgewählte Vertriebskanäle, die vom Konsumenten besonders positiv eingeschätzt werden.

Von diesen Vermarktungskonzepten sollten in Zukunft sowohl der Absatz von regionalen Produkten über den Lebensmitteleinzelhandel als auch die Direktvermarktung über den Wochenmarkt weiter verfolgt werden. So ist im Berliner Einzelhandel bereits jetzt die Regionalmarke „Von hier“ erhältlich (Kögl & Tietze 2010). Hochpreisige regionale Spezialitäten stellen eine besondere Herausforderung dar, deren Realisierungschancen nur bei genauer Marktkenntnis beurteilt werden können. Ohnehin fallen, entsprechend den Kriterien der EU, bisher nur drei Produkte aus Brandenburg in diese Kategorie (EU-KOM 2010). Das sind die mit dem Label „geschützte geographische Angabe“ (g. g. A.) versehenen Produkte wie z. B. Spree-waldgurken. Die beiden zuerst genannten Konzepte erfordern aber offensichtlich ein höheres Maß an Koordination und Professionalität, als es bisher von einzelnen Anbietern und Händlern geleistet werden konnte. Bedenkt man die nicht geringen geographischen Distanzen vom Berliner Umland bis ins Zentrum und die von den befragten Experten genannte zu große Fragmentierung des regionalen Angebotes, dann sollte auch der Großhandel an einer Neustrukturierung der Absatzwege beteiligt werden. Ob dazu auch eine Bündelung des regionalen Angebotes in Form einer Erzeugergemeinschaft am Berliner Großmarkt nützlich wäre, müsste mit Marktexperten besprochen werden.

### ***Steigerung der Versorgung des Berliner Marktes mit Produkten aus Brandenburg***

Die regionale Unterversorgung von Berlin mit Obst, Gemüse, Kartoffeln und Fleisch kann in erster Linie durch die, verglichen mit dem arbeitsextensivem Ackerbau, relativ schlechte betriebswirtschaftliche Bewertung dieser Produkte durch die Brandenburger Landwirte erklärt werden. Weitere Nachteile dürften im Risiko-Chancenverhältnis dieser Produkte liegen, das die Erzeuger offensichtlich davon abhält, in diese Märkte einzutreten. Vergleiche mit Hamburg und München legen nahe, auf mittlere Sicht die möglichen Verbundeffekte von regionalen Wertschöpfungsketten stärker zu nutzen, was eine engere Kooperation zwischen Erzeugern, Verarbeitern und dem Handel erfordert. An diesen Kooperationen kann sich auch die Stadt Berlin beteiligen, indem sie die Infrastruktur für den innerstädtischen Absatz regionaler Produkte auf Groß- und Wochenmärkten so verbessert, dass diese Einrichtungen dem Verbraucher einen ähnlichen Service leisten, wie sie ihn von den großen Verbrauchermärkten gewohnt sind. Welchen Beitrag auf längere Sicht technische Fortschritte in der Produktion leisten könnten, z. B. Einsparungen an Wasser und an fossiler Energie, um eine betriebswirtschaftliche Neubewertung der in Frage

stehenden Produkte durch die Landwirte herbeizuführen, müsste produktspezifisch noch näher untersucht werden.

Da Preisvorteile von Regionalprodukten gegenüber global gehandelten Produkten auch in Zukunft eher nicht zu erwarten sind, sollten die Verbraucher vermehrt durch eine auf Produktqualität ausgerichtete Strategie gewonnen werden. Es ist die Aufgabe der Akteure entlang der Wertschöpfungskette, aus dem breiten Spektrum des Marketingmixes diejenigen Maßnahmen auszuwählen, die dem Verbraucher die besonderen Produkt- und Qualitätseigenschaften regionaler Nahrungsmittel am besten vermitteln.

## **Neue Entwicklungen in der Pflanzenzüchtung und Systembetrachtungen der Pflanze-Umwelt-Interaktion**

*Inge Broer, Reiner Brunsch*

### ***Die landwirtschaftliche Situation in Berlin-Brandenburg***

Das Land Brandenburg hat eine sehr intensive Beziehung zum Wasser: Einerseits verfügt es über 33.000 km Fließgewässer und 3.000 Seen und viele naturnahe Gewässerlandschaften. Erst die Be- oder Entwässerung durch großflächige Meliorationen (Landaufwertungsmaßnahmen) führte dazu, dass viele Gebiete landwirtschaftlich genutzt werden konnten. Andererseits ist der Wasserhaushalt mit Jahresniederschlägen um 600 mm/Jahr (Lischeid 2010) angespannt. Die Landwirtschaft muss zwischen einem Wasserüberangebot wie bei der Oderflut 1997 oder dem Hochwasser im Mai 2010 und extremer Trockenheit einen Weg zu einer nachhaltigen Produktion finden. Diese Extreme sollen sich nach aktuellen Klimastudien (vgl. Kapitel I) in Zukunft noch weiter verstärken. Für Brandenburg wird erwartet, dass zum einen die Winter milder und die Sommer heißer werden und zum anderen die Niederschläge regional weiter zurückgehen. Dies kann in einigen Bereichen, besonders auf den weniger fruchtbaren Flächen, die heute hauptsächlich zur Getreideproduktion eingesetzt werden, zu einer erheblichen Ertragsminderung führen, die eine herkömmliche Nutzung dieser Flächen möglicherweise unwirtschaftlich macht. Zugleich konzentriert sich die landwirtschaftliche Produktion im Wesentlichen auf Getreide (vgl. *Kögl*, S. 122–128), das exportiert wird, und vernachlässigt die Produktion von regional stark nachgefragten Produkten wie Tomaten oder Paprika. Regionale Märkte werden nicht bedient, weil der Anbau von Gemüse und Kartoffeln hohe Investitionen erfordern würde, aber der Absatz nicht ausreichend gesichert ist.

Die Konzipierung einer nachhaltigen Landnutzung unter diesen klimatischen Extremen und starken ökonomischen Zwängen erfordert neue Wege. Erforderlich sind die Verlagerung von Schwerpunkten zwischen Pflanzen- und Tierproduktion, andere Produktionsweisen wie etwa der pfluglose Anbau, innovative Bewässerungssysteme und die gezielte Auswahl von Kulturarten. Die Landwirtschaft, aber auch ihre Produkte wie Tier und Pflanze selbst, müssen flexibel auf sich ändernde Umweltbedingungen und Märkte reagieren können.

## ***Lösungsansätze***

### **Anpassung der Nutzpflanzen an wechselnde Umweltbedingungen durch Pflanzenzucht**

Die Anpassung des Pflanzenbaus an die wechselnden Umweltbedingungen erfordert neben Änderungen bei Fruchtfolge und Anbauverfahren den Einsatz von angepassten Kulturarten. Bereits die gegenwärtigen Klimabedingungen wie lange Dürre- oder Hitzeperioden sind eine große Herausforderung für die weltweite Pflanzenproduktion, weil sie das Pflanzenwachstum und den Ertrag vermindern. Die geschätzten jährlichen Verluste gehen in die Milliarden (Boyer 1982; Mittler 2006). Die Pflanzen müssen also in der Lage sein, auch bei einem geringen oder sehr stark wechselnden Wasserangebot ähnlich hohe Erträge wie unter Normalbedingungen zu liefern. Eine solche Trockentoleranz kann durch die Optimierung der Wasseraufnahme und durch eine hohe Wassernutzungseffizienz erreicht werden. Die Aufnahme von Wasser erfolgt über die Wurzelsysteme der Pflanzen, die sehr unterschiedlich ausgeprägt sein können. Die Architektur der Wurzel beeinflusst die Effektivität der Wasser- und damit auch der Nährstoffaufnahme z.B. durch die Tiefe, in die die Wurzeln vordringen, um Wasser aus dem Unterboden aufzunehmen, oder durch die Ausbreitung im Oberboden, wo das Wasser nach Regenfällen schneller zur Verfügung steht, es aber auch schneller zu Austrocknungen kommt. Die beste Wasseraufnahme leisten also Wurzelsysteme, die in der Lage sind, die stabileren Wasservorkommen im Unterboden sowie die variablen Wässer im Oberboden auszunutzen. Ebenso bedeutend ist es, die Verdunstung von Wasser so weit wie möglich zu reduzieren, ohne dabei den Transpirationssog und damit die Wasseraufnahme zu schwächen. Aber auch die Verbesserung der Fähigkeit der Pflanzen, Austrocknungen zu vermeiden oder zu überstehen, kann zu einer Erhöhung der Biomasse auf trockenen Standorten beitragen. Diesen Zielen widmet sich die Pflanzenzüchtung seit Jahren. Durch die Identifizierung von sogenannten *quantitativ trait loci* (QTL) für Trockentoleranzen wird mithilfe der Molekularbiologie versucht, geeignete Kreuzungspartner für eine klassische Züchtung z.B. trockenoleranter Sorten zu finden. Studien an der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* (Acker-Schmalwand), aber auch an sogenannten Wiederauferstehungspflanzen wie der „Rose von Jericho“ haben dazu beigetragen, Gene zu identifizieren, die an einer Trockentoleranz beteiligt sind. Mittels der Gentechnik können diese Gene auch auf Kulturpflanzen übertragen werden. Bisher erfolgte dies aber nur in geringem Umfang, weil die meisten von ihnen nur eine geringe Steigerung der Trockentoleranz bewirkten (Bartels & Phillips 2010).

In Anbetracht der zu erwartenden Extreme ist aber nicht nur die Trockentoleranz von Bedeutung. Auch ein Übermaß an Wasser bedeutet Stress für die Pflanzen. Des Weiteren wird im Zuge des Klimawandels das verstärkte Auftreten von Schädlingen erwartet, die unter den bisherigen klimatischen Bedingungen in Brandenburg kein Problem darstellten (Weigel 2005). Auch bereits vorhandene Schaderreger können an den durch den abiotischen Stress geschwächten Pflanzen größere Schäden als bisher hervorrufen. Eine Anbaufläche stellt eine komplexe Umwelt dar, die sich durch sehr heterogene Bedingungen und Kombinationen von verschiedenen abioti-

schen und biotischen Stressfaktoren auszeichnet. Der globale Klimawandel könnte diese Komplexität noch verstärken. Möglicherweise ist eine Kombination von unterschiedlichen Ansätzen notwendig, um eine wirklich stresstolerante Kulturpflanze zu erzeugen (Mittler & Blumwald 2010). Die Pflanzenzüchtung muss also mit allen ihr zur Verfügung stehenden Mitteln versuchen, angepasste Sorten zu entwickeln, die auch unter den zu erwartenden Bedingungen hohe Erträge sicherstellen.

### **Verbesserung der Landnutzung durch optimierte Fruchtfolgen**

Die Möglichkeiten zur Gestaltung von standortgerechten und rentablen Fruchtfolgen haben sich in der jüngsten Vergangenheit sowohl durch agrarpolitische Rahmenbedingungen (Förderpolitik der EU) als auch durch die Veränderungen des Markts erheblich verbessert. So wird bis 2013 schrittweise eine einheitliche Flächenprämie für Acker- und Grünland realisiert. Die früheren Kulturartenprämien wurden zum 1. Januar 2005 „entkoppelt“, das heißt in von der Frucht unabhängige Flächenprämien umgewandelt, und durch Cross Compliance, also die Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen wie etwa Umweltstandards, gebunden an 19 europäische Rechtsvorschriften, die Grundanforderungen an die Betriebsführung in den Bereichen Umwelt, Lebensmittelsicherheit, Tiergesundheit und Tierschutz definieren, sowie an die Erhaltung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand.

Die Öffnung der Weltagrarmärkte im Rahmen der GATT-Verhandlungen führte zu erhöhtem Kostendruck, dem in der Regel durch Spezialisierung auf wenige (gut bekannte) Fruchtarten begegnet wird. Im gleichen Zeitraum wandelte sich der Markt für Agrarprodukte. So führte das Gesetz über den Vorrang erneuerbarer Energien vom 29. März 2000 und seine Folgegesetze zu einem massiven Anstieg der Erzeugung von Energie aus Biomasse und erreichte im Jahr 2009 eine insgesamt installierte elektrische Leistung von 1893 MW (Fachverband Biogas 2010, Stand 07/2010). 90 % der Biogasanlagenbetreiber nutzen Mais als Substrat (Pellmeyer 2010). Mais – als eine das Landschaftsbild dominierende, humuszehrende Monokultur – steht in der Kritik und dadurch auch die Energieerzeugung aus pflanzlicher Biomasse. Dass es Alternativen zum Mais gibt, machen aktuelle Forschungsergebnisse deutlich. Ein mehrjähriges Projekt eines nationalen Forschungsverbundes befasste sich mit Anbausystemen für Energiepflanzen zur Biogaserzeugung und bietet standortdifferenziert effiziente Lösungen an, die Alternativen zum Silomais bilden (Vetter et al. 2009).

Neben den Nahrungs- und Energiepflanzen sind noch die sogenannten Industriepflanzen als mögliche Alternative zu berücksichtigen, aus denen beispielsweise Rohstoffe für die chemische Industrie gewonnen werden können. Diese Pflanzen können sowohl aus der Sicht der Wertschöpfung als auch für die Diversifizierung der Kulturen interessant sein. Somit verbreiterte sich das Nachfragespektrum insgesamt, und der Landwirt kann eine für seinen Betrieb nützliche Fruchtfolge erarbeiten. Die Erfahrung vergangener Generationen hat dabei noch immer Bestand: „Am wichtigsten ist die Auswahl unter den zu bauenden Pflanzen, die richtige Auf-

einanderfolge der ausgewählten bietet keine Schwierigkeit mehr. Zuerst muss man alle Pflanzen ausscheiden, welche unter dem herrschenden Klima nicht sicher gedeihen; dann die, welche bei dem Boden im gegebenen Kulturzustand nicht lohnen; die, welche nach den Markt- und Handelsverhältnissen nicht vorteilhaft erscheinen; endlich die, von welchen man bei der gewählten Einrichtung des Betriebes keinen Gebrauch machen kann oder will. Von dem Rest wählt man die aus, welche frische Düngung lieben oder verlangen; sie stehen an der Spitze; die anderen folgen möglichst so, daß Halm-, Blatt-, Wurzelfrüchte sich ablösen, und so, daß zwischen Ernte und Saat genügend Zeit zur Bearbeitung des Feldes gegeben ist“ (Meyers Konversationslexikon 1888).

Diese so einfach klingende Empfehlung umzusetzen erfordert umfangreiches Wissen. Für Deutschland werden beispielsweise 84 Nutzpflanzenarten, die sich noch in Unterarten und Sorten untergliedern, beschrieben (Körper-Grohne 1995), und es existiert eine große Vielfalt in den standörtlichen Gegebenheiten. Dies führt bei den Landwirten aber auch zu neuen Fragestellungen bezüglich der Bedeutung „neuer“ Pflanzenarten in einer bekannten Fruchtfolge. Nährstoffbedarf, -erschließung und Auswirkungen auf den Humusgehalt sind nur einige Beispiele für das erforderliche Wissen, das beim Landwirt vorliegen muss, damit er die Bewirtschaftung ganz im Sinne einer nachhaltigen Landnutzung und in Übereinstimmung mit den oben genannten Verpflichtungen aus der Cross Compliance durchführen kann.

Die standortangepasste Fruchtfolgegestaltung bedarf aufgrund ihrer Komplexität in Forschung und Beratung weitaus stärkerer Aufmerksamkeit, um einen Beitrag zum sparsamen Umgang mit Betriebsmitteln, zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und zur Verbesserung der Biodiversität zu leisten.

### **Verbesserung der Landnutzung durch angepasste Anbauformen**

Ein wichtiges Ziel für eine nachhaltige Landnutzung ist die lokale Vermarktung von einheimischen Produkten. Besonders geeignet sind schnell verderbliche Waren wie Milchprodukte und Gemüse, die einen gekühlten und damit energieaufwändigen Transport erfordern. Dennoch liegt der Anteil der lokalen Vermarktung von Gemüse in Brandenburg bei unter 30 % (Kögl & Tietze 2010).

Die beliebtesten Gemüse sind nach Angaben der CMA (2003) Tomaten mit 1094 kg/100 Haushalte, Möhren mit 754 kg/100 Haushalte, Gurken mit 736 kg/100 Haushalte und Paprika mit 590 kg/100 Haushalte. Erstaunlicherweise wird dieser Markt maßgeblich von niederländischen Betrieben bedient. Dort werden Tomaten und Paprika nicht im Freiland angebaut, sondern in Gewächshäusern von mehr als einem Hektar Fläche. Diese Häuser erlauben ein kontrolliertes Klima und die Begasung mit CO<sub>2</sub>. Im Sommer fordern sie zwar eine energieintensive Kühlung, speichern aber auch die Wärme für den Winter. In den Niederlanden wird intensiv an neuen Verfahren zur Verbesserung der Energieeffizienz gearbeitet. Die Gemüse wachsen häufig in hydroponischen Kulturen. Das Grundmaterial ist in der Regel Steinwolle, die mit einer durchlaufenden Nährlösung versetzt wird. Die Pflanzen wachsen über mehrere Meter in die Höhe. Auf diese Weise ist eine ganzjährige Produktion mit

22 % höheren Erträgen, 30 % Energieersparnis, 80 % weniger Einsatz von Agrochemikalien und 50 % weniger Wasser möglich (Nederhoff 2006). In halbgeschlossenen Gewächshäusern kann die CO<sub>2</sub>-Konzentration dauerhaft auf beispielsweise 500 ppm gesteigert werden, was zu Ertragssteigerungen um 22 % auf 56 kg/m<sup>2</sup> Tomaten im Vergleich zu konventionellen Gewächshäusern führt (de Gelder et al. 2004).

Als nachhaltig können diese Entwicklungen aber nur bezeichnet werden, wenn sie in Relation zum Ertrag auch einen geringeren Energieaufwand und vertretbare Investitionskosten bedeuten und für den Landwirt ein überschaubarer und konstanter Absatzmarkt vorhanden ist. Wenn Gewächshäuser ganzjährig und mit fossilen Energieträgern betrieben werden, können sie einen signifikanten Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Emission der Landwirtschaft leisten (6514 kg CO<sub>2</sub>-eq/ für 1000 kg Tomaten). Dabei weisen Tomaten mit 127.32 GJha<sup>-1</sup> nach Gurken den zweithöchsten Energiebedarf auf (Ozkan et al. 2004). Die steigenden Erdölpreise halten Landwirte daher auch von der Gewächshausproduktion ab (Pena 2005). Es ist also notwendig, den Energiebedarf der Gewächshäuser drastisch zu senken und gleichzeitig alternative Energiequellen zu nutzen.

Mögliche Lösungsansätze sind:

- maximale Nutzung der Sonnenenergie (z. B. durch hohe Lichtdurchlässigkeit, Nutzung der nicht photosynthetisch aktiven Strahlung für die Photovoltaik, Speicherung der Wärme, Erdwärme),
- Reduktion des Energiegebrauchs (z. B. durch Isolierung, Kühlung durch natürliche Ventilation),
- effizienter Energiegebrauch (z. B. durch hohe Feuchtigkeit, reduzierte Transpiration),
- Ersatz von fossilen Brennstoffen (z. B. durch Biogas, Holz, Wind, Geothermie).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob Gewächshäuser nach dem niederländischen Beispiel eine Zukunftsoption für magere und trockene Böden in Brandenburg sein könnten, die infolge des Klimawandels nicht mehr nachhaltig zur Getreideproduktion taugen. Dafür sind an die Gewächshäuser folgende Anforderungen zu stellen:

- Nutzung der nicht für die Photosynthese einsetzbaren Sonnenenergie für die Produktion von Strom (Solartechnik) und Wärme,
- Reduktion des Kühlungsbedarfs im Sommer und der Heizenergie im Winter durch effiziente Wärmespeicherung,
- Feuchtigkeitsregulierung bei minimaler Lüftung,
- effiziente Verwertung von in industriellen Prozessen anfallendem CO<sub>2</sub> zur Begasung,
- Kultivierung der Pflanzen in Steinwolle, die kontinuierlich mit Nährlösung und O<sub>2</sub> versorgt wird, über mehrere Meter Höhe, für zwölf Monate im Jahr,
- Verwertung der abfallenden Biomasse in Biogasanlagen.

Gleichzeitig sind die Züchtung geeigneter Sorten (Zuchtziele: Temperaturtoleranz, Luftfeuchtetoleranz, Geschmack, Konsistenz, Ertrag), effiziente Sonnenenergiemodule und die geschickte Verbindung mit anderen Produktionssystemen wie der

Tierproduktion (CO<sub>2</sub>, Biogasanlagen) und industrielle Anlagen erforderlich, um ein solches System nachhaltig zu gestalten. Derzeit arbeitet ein Verbundforschungsprojekt daran, technische und kulturtechnische Innovationen in einem Gewächshaus zusammenzuführen, aus dessen Betrieb keine CO<sub>2</sub>-Emissionen durch fossile Energieträger entstehen<sup>1</sup>.

Auch diese optimierten Systeme sehen sich einer Reihe von Hemmnissen gegenüber, die aber über gesellschaftliche Prozesse überwunden werden könnten. Zum einen ist der Markt bereits besetzt, entweder müssten also die gegenwärtigen Preise unterboten oder das Kaufverhalten in Richtung Regionalprodukt gesteuert werden. Des Weiteren vermindern die enorme Höhe der Investitionskosten und die dauerhafte Festlegung der Flächen die Flexibilität der Landwirte, die außerdem im Vergleich zu den niederländischen Produzenten durch die geringe Erfahrung mit Gewächshausanbau benachteiligt sind. Es bleibt auch abzuwarten, inwieweit die Bevölkerung die Errichtung großflächiger Gewächshäuser in ihrer Umgebung akzeptiert.

Dennoch kann die ganzjährige Produktion von Gemüse wie Tomaten und Paprika in Brandenburg eine nachhaltige Alternative zum Anbau von Getreide auf marginalen Flächen sein, weil sie eine umweltfreundliche, wasser- und flächen-extensive Herstellung von landwirtschaftlichen Produkten erlaubt, die auf dem lokalen Markt stark nachgefragt sind. Hierbei sind jedoch noch zahlreiche Voraussetzungen zu erfüllen und Hemmnisse zu beseitigen, bevor eine solche Technologie in Brandenburg in größerem Maßstab zum Einsatz kommen kann.

### ***Fazit***

Sich verändernde Umweltbedingungen erfordern Anpassungen bei den landwirtschaftlichen Produktionssystemen. Die Anpassungen können am wirksamsten im Gesamtsystem umgesetzt werden. Dazu sind jedoch Expertisen und Entwicklungsarbeiten einzelner Fachdisziplinen nötig, die in einem disziplinenübergreifenden Diskurs zu neuen Systemlösungen führen. Die Verknüpfung mit den konkreten Erfahrungen und Bedingungen in der landwirtschaftlichen Praxis führt zu transdisziplinären Lösungsvorschlägen mit hohem Umsetzungspotenzial. Die züchterische Weiterentwicklung von Pflanzengenomen ist dabei ebenso bedeutsam wie die standortgerechte Fruchtfolgegestaltung oder eine gezielte Gestaltung von Produktionsumwelten, etwa in weitgehend geschlossenen Systemen wie Gewächshäusern.

---

<sup>1</sup> Vgl. <http://www.zineg.de>

## **Kernaussagen**

*Inge Broer, Alfred Pühler, Mihaiela Rus*

### ***Herausforderungen im Zuge des Landnutzungswandels***

Der globale Wandel wirkt sich auf die Landschaft in ihrer Funktion als Wirtschafts- und Kulturräum aus. Ihre Veränderungen stellen neue Herausforderungen für die Nutzung und den Schutz der natürlichen Ressourcen, speziell der Wasserressourcen dar. Obwohl die wirtschaftliche Nutzung des ländlichen Raums und die Kulturlandschaftsentwicklung sich gegenseitig stark beeinflussen, sollen die beiden Bereiche zunächst getrennt betrachtet werden.

### **Landschaft als Wirtschaftsraum**

Triebkräfte des Wandels in der wirtschaftlichen Landnutzung sind die zunehmende Marktintegration in Entwicklungsländern, die internationale Liberalisierung und Ausweitung der Märkte, der Einfluss von Informationstechnologien und Kommunikationsnetzwerken und Fortschritte im Transport. Dies führt zur Erhöhung der makroökonomischen Verwundbarkeit einzelner Staaten und zu Veränderungen im sozialen Gefüge der Regionen. Folge des Wandels sind vielfältige positive, aber auch negative Effekte auf ökonomischer und sozialer Ebene, die in einer Stärkung der Position der WTO münden, aber auch in einer Reduktion der Grenzen zwischen Systemen und damit einhergehend einer Reduktion der Diversität der Wirtschaftssysteme. Diversität kann im Fall des Scheiterns eines Systems Alternativen bieten, die jedoch im Zuge einer wachsenden Angleichung der Systeme verringert werden. Eine wesentliche Folge dieses Wandels für die Fokusregion ist die Zunahme von Unsicherheit. Der positive Effekt des mit dem Wandel verbundenen Preisanstiegs landwirtschaftlicher Produkte wird durch den Anstieg von Betriebskosten und Bodenpreisen reduziert. Die Kalkulation wird für den Landwirt durch zahlreiche Faktoren, die die Unsicherheit vergrößern, erschwert. Durch multiple Kräfte des globalen Marktes schwanken die Preise zum Teil erheblich und in kurzen Intervallen. Diese Schwankungen werden zurzeit nur durch lokale Protektionen reduziert. Die globale Vernetzung wirkt sich auch auf die Verfügbarkeit von Saisonarbeitern aus, die fast ein Drittel der in der Region in der Landwirtschaft Beschäftigten ausmachen. Die ungleichmäßige Entwicklung der Löhne in den einzelnen EU-Staaten kann sich auf die brandenburgischen Betriebe auswirken, indem ihre Attraktivität

von Jahr zu Jahr unterschiedlich ausfällt. Dennoch weisen die brandenburgischen Betriebe eine wesentlich höhere Wertschöpfungsrentabilität auf als beispielsweise Betriebe in den westlichen Bundesländern. Ein Grund hierfür kann die Auswahl von arbeitsextensiven Kulturen wie Getreide und Ölsaaten sein. Diese Auswahl beruht jedoch auf den derzeitigen Produktionsstandards, die sich bei einer Ressourcenverknappung, wie z. B. reduzierter Wasserverfügbarkeit, ändern können. Neben diesen Entwicklungen führt auch der Trend zum Anbau nachwachsender Rohstoffe zu einem Anstieg der Bodenpreise, was den Druck auf eine wirtschaftliche Nutzung erhöht.

Die Unsicherheit in der Forstwirtschaft resultiert aus den langen Produktionszeiträumen und der Notwendigkeit, auf lange Sicht zu planen. Die Anfälligkeit der Wälder ist vor allem durch die Wald- bzw. Altersstruktur begründet. Auch hier wirkt Diversität risikomindernd. Das Gefährdungspotenzial der Forstbestände infolge von Klimaveränderungen ist hoch, besonders wenn zusätzlich zu Schwankungen bei der Saatgutversorgung, die durch Witterungsextreme hervorgerufen werden können, weitere biotische und abiotische Stressoren die Gesundheit der Bestände beeinträchtigen. Obwohl die Kiefer als häufigste Baumart der Fokusregion auch die höchste Anpassungstoleranz gegenüber Sommertrockenheit und warmen Wintern zu haben scheint und erwartet wird, dass sie auch noch in den nächsten Jahrzehnten das Rückgrat der brandenburgischen Forst- und Holzwirtschaft bleibt, besteht doch eine Gefährdung der Kiefer durch biotische und abiotische Schadeinflüsse. Folglich strebt man das Ziel an, die monostrukturierten Altersklassenwälder in stärker angepasste bzw. standortgerechte Kiefern-Laubholz-Mischbestände zu wandeln (sog. Waldumbau).

### **Landschaft als Kulturraum**

Landschaft ist seit Jahrtausenden Wirtschaftsraum und wurde nach den jeweiligen zeitgenössischen Möglichkeiten genutzt und gestaltet und ist damit gleichbedeutend mit Kulturlandschaft. Darüber hinaus besitzt Landschaft eine historische Dimension und eine soziokulturelle Bedeutung. Durch emotionale und soziale Bindung wird Landschaft zur Heimat. Je schneller sich eine Landschaft verändert, umso intensiver wird auch der Verlust an Vertrautheit und Heimat empfunden. Dieser Landschaftswandel wurde in den letzten Jahrzehnten enorm beschleunigt.

Die künftigen Kulturlandschaften werden Spiegelbild der Globalisierung, des Klimawandels (mit Veränderungen des Landschaftswasserhaushaltes), der Klimawandelanpassung, des demographischen Wandels und der Migrationsprozesse sein. Man könnte weitere Trends hinzufügen: Agrarstrukturwandel, Auseinanderklaffen der Einkommensschere (Nachfrage nach Qualität *und* nach möglichst billigen Lebensmitteln) und Preissteigerungen fossiler Energieträger. Nicht alle dieser Trends sind beeinflussbar.

## ***Ansatzpunkte für Forschung und Handeln***

### **Regionale Produktion und Vermarktung**

Regionale Produktion und Vermarktung könnten den Umgang mit Unsicherheiten erleichtern. Allerdings ist der Anteil regionaler Produkte am Markt der Fokusregion extrem gering. Gerade für frische und unverarbeitete Lebensmittel wie Gemüse, Kartoffeln und Fleisch liegt eine deutliche regionale Unterversorgung vor. Neben der arbeits- und investitionsintensiven Produktion und dem hohen Risiko könnte auch die bisher unzureichende Erschließung regionaler Märkte eine Ursache hierfür sein. Engere Kooperation zwischen Erzeugern, Verarbeitern und dem Handel sowie die Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur durch die Stadt Berlin könnten den Markt für regionale Produkte öffnen. Die Unterstützung regionaler Vermarktung durch regionale, nationale oder EU-weite Abschottungen der Märkte würde Nachteile für andere Märkte mit sich bringen und wird nicht als zielführend betrachtet. Eine weitere Möglichkeit, die wirtschaftliche Produktion regional vermarktbarer Produkte zu fördern, ist die Optimierung des Anbaus. Auf den nährstoffarmen und sommertrockenen Böden in Brandenburg könnte die Errichtung von großflächigen modernen Gewächshäusern, in denen Gemüse wassersparend und ohne Boden ganzjährig produziert werden, die Produktionskosten mindern und Risiken reduzieren. Voraussetzung ist allerdings die enge Kopplung an regenerative Energieträger wie Solar-, Biogas- und Geothermieanlagen, eine intensivierete CO<sub>2</sub>-Fixierung und eine schnelle Erschließung von regionalen und überregionalen Märkten, um die hohen Investitionskosten für den Landwirt vertretbar zu gestalten. Die regionale Produktion in Gewächshäusern würde so eine wirtschaftliche Landnutzung mit wesentlich reduziertem Wassergebrauch ermöglichen. Sie wäre verbunden mit einer lokalen Sammlung von Niederschlagswasser, das zum einen zur Bewässerung, zum anderen zur Energiespeicherung eingesetzt wird. Gerade bei Starkregen kann dies jedoch eine enorme Herausforderung für die Wassersammelsysteme bedeuten.

### **Steigerung der Wassereffizienz**

In der Landwirtschaft sind Maßnahmen zur Steigerung der Wassereffizienz notwendig. Die Erhöhung der Wassereffizienz im System landwirtschaftlicher Betrieb gerade auf den leichten Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität, wie sie in Brandenburg dominieren, ist daher eine der wichtigsten Maßnahmen, um den Folgen des Klimawandels zu begegnen. Die Maßnahmen umfassen die Erhöhung des Transpirationskoeffizienten, die zeitliche oder räumliche Vergrößerung des Wasserspeichers, die Erhöhung der Niederschlagswasseranteile am Wasserspeicher, die Verringerung der nicht über Transpiration auftretenden Wasserverluste sowie das Einsparen von Prozess- und Tränkwasser. Neben relativ einfachen Wassereinsparungen im laufenden Betrieb ist auch die Kulturpflanzenzüchtung eine Option, um durch eine höhere Stresstoleranz der Pflanzen sowie eine optimierte Wasseraufnahme und -nutzung trotz schwankender Bedingungen stabile Einträge zu er-

wirtschaften. Weitere wichtige Schritte sind angepasste Anbau- und Haltungsverfahren und die Wiedereinführung standortgemäßer Fruchtwechsel. Die Optionen sind jedoch nicht auf alle Betriebe und Bedingungen übertragbar, die Nutzbarkeit und Kombination der vorgeschlagenen Maßnahmen muss im Einzelfall geprüft werden.

### **Veränderung im Waldbau**

Eine weitere Möglichkeit, der Reduktion von Wasserressourcen in der wirtschaftlichen Landnutzung zu begegnen, ist eine Veränderung im Waldbau. Aufgrund der langen Produktionszeiträume, der eingeschränkten Reaktionsmöglichkeiten, der Naturnähe und der Vielzahl unterschiedlicher Zielstellungen sind die Handlungsspielräume bei der Waldbewirtschaftung aber viel geringer als in der Landwirtschaft. Entsprechend ist die durch das Waldumbauprogramm von 1990 vorgesehene Verschiebung von gleichaltrigen Kiefernreinbeständen zu strukturreichen Kiefern-Laubholz-Mischbeständen bisher nicht erkennbar. Es stehen derzeit keine Waldbaumarten für einen großflächigen Anbau zur Verfügung, die Klimaextremereignissen besser trotzen könnten. Die Verfügbarkeit von Bodenwasser während der Vegetationsperiode wird maßgeblich über Ertrag und Überleben der Bestände entscheiden. Unter dem Gesichtspunkt der physiologischen Überlebensfähigkeit verfügen gerade langlebige Baumarten über effiziente Anpassungsreaktionen gegenüber Witterungsstress.

### **Land- und Wasserressourcenmanagement**

Land- und Wasserressourcenmanagement sind sowohl im Land- als auch im Waldbau von großer Bedeutung. Aufgrund der geologischen Voraussetzungen ist die Fokusregion Berlin-Brandenburg hinsichtlich des Wasserhaushaltes durch ein hohes Maß an Vulnerabilität gekennzeichnet. Diese wurde durch Entwässerungsmaßnahmen und intensive landwirtschaftliche Nutzungen zusätzlich verstärkt. Jede mit Entwässerung verbundene Nutzung von Niedermoorböden führt durch die Belüftung der organischen Böden zu deren Mineralisierung mit Degradierung der bodenhydrologischen Durchlässigkeits- und Speichereigenschaften sowie der Bodenfruchtbarkeit. Grundsätzlich sind die Polderflächen wichtige Produktionspotenziale für die Landwirtschaft und dürften künftig noch an Bedeutung gewinnen. Dies gilt besonders für die Fokusregion, wo nur die Prignitz und die Uckermark ähnlich fruchtbare Standorte aufweisen wie die Polder an der Oder und an der Elbe. Bezogen auf den märkischen Feuchtgebietsgürtel kann sich das Oderbruch zum fruchtbaren Agrarstandort entwickeln. Zur Erhaltung dieses Potenzials ist bis 2030/2040 die Etablierung eines Integrierten Land- und Wasserressourcenmanagement (ILWRM), notwendig. Die Niedermoorstandorte sollten, soweit eine ausreichende Wasserverfügbarkeit gegeben ist, aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen und als Feuchtgebietsrefugien erhalten werden.

## Wandel der Kulturlandschaft

Um diesen Wandel der Kulturlandschaft verträglicher zu gestalten, sollten neue Landschaften auch Kontinuen, d. h. Formen der Vertrautheit aufweisen; wobei kleinflächige oder zeitlich befristete Brüche nicht gegen das Kontinuum stehen, sondern Teil davon sind. Solche Kontinuen könnten darin bestehen, dass für vertraute Formen neue Funktionen geschaffen werden, indem man beispielsweise Niederwald für Energieholzerzeugung (flächig) und Gehölzstrukturen für Energieholzerzeugung (linear) anlegt, Grabensysteme für Grundwasseranreicherung und Kleinstrukturen (Raine, Hecken usw.) zur Oberflächenabflusspufferung und als Erosionsschutz nutzt; und neue Nutzungsformen etabliert, die sich gut in das Landschaftsbild integrieren. Dies können moderne Agroforstsysteme sein, in denen Wertholz- mit ackerbaulicher Energiepflanzenproduktion, Wertholz- mit Marktfruchtproduktion, Wertholzproduktion mit Grünland (auch für Energiebiomasse) und Wertholzproduktion mit Kurzumtriebskulturen kombiniert werden. Auen und Geländemulden sollten systematisch für die Wasserretention genutzt werden. Die punktuelle und lineare Einbringung von Gehölzen erschafft ein vertrautes Bild. Dabei sollten nicht nur die „Klassiker“ Eiche, Linde oder Esche eingesetzt werden, sondern auch weitere wirtschaftlich und gestalterisch interessante Arten wie die Schwarzkiefer, die Robinie oder die Pyramidenpappel. Eine spezifische Eigenart erhalten Kulturlandschaften außerdem durch kleinräumige und befristete Nutzungen, die vielen Landschaften heute fehlen. Damit sich lokal und regional eine eigene Dynamik, eine Vielfalt von Lösungen entfalten kann, ist mehr Gestaltungsspielraum vonnöten, den die Politik schaffen muss.

Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf in all diesen Bereichen ist groß. Bei der Steigerung der Effizienz der Wassernutzung in den landwirtschaftlichen Betrieben sind sicherlich noch lange nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft und erkannt: Gewächshäuser, die neben einer effizienten ganzjährigen Pflanzenproduktion Energie bereitstellen, Kulturpflanzen, die den zunehmenden klimatischen Extremen widerstehen, angepasste Fruchtwechsel und Agrartechniken müssen entwickelt oder wiederentdeckt werden. Einsparungseffekte sollten quantifiziert und die Kosten der entsprechenden Maßnahmen erfasst werden, um beides in Relation zum wasserwirtschaftlichen Aufwand zu setzen. Für langfristige Strategien im Waldumbau ist ein quantitatives Assessment der Anpassungskapazität unverzichtbar. Auch hierfür fehlt es bislang an belastbaren wissenschaftlichen Grundlagen.

## Literatur

- Ahnsehl, A., Bandelin, J. & Howitz, C. (1996): Die Ernährungswirtschaft Mecklenburg-Vorpommerns und ihre absatzwirtschaftlichen Verflechtungen mit dem Großraum Berlin. Rostocker Beiträge zur Regional- und Strukturforschung 5, 61–140.
- Amede, T., Descheemaeker, K., Peden, D. & van Rooyen, A. (2009): Harnessing benefits from improved livestock water productivity in crop-livestock systems of sub-Saharan Africa: synthesis. *The Rangeland Journal* 31 (2), 169–178.

- Amt für Statistik Berlin Brandenburg. Verschiedene Reihen und Jahrgänge. Potsdam: Amt für Statistik Berlin Brandenburg.
- Arge Future Landscapes (2005): Future Landscapes. Perspektiven der Kulturlandschaft. Bonn, Berlin: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS).
- Balla, D. & Quast, J. (2001): Wassergüte in Niedermooren. Strategien und Verfahren zur Renaturierung. In: R. Kratz & J. Pfadenhauer (Hrsg.), Ökosystemmanagement für Niedermoore: Verfahren und Strategien der Renaturierung nord- und ostdeutscher Niedermoore. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 111–119.
- Bartels, D. & Phillips, J. (2010): Drought stress tolerance. In: F. Kempen & C. Jung (Hrsg.), Genetic Modification of Plants, Biotechnology in Agriculture and forestry 64. Berlin, Heidelberg: Springer, 139–157
- Bäucker, E., Bues, C.-T. & Schröder, J. (2007): Holzqualität von Traubeneichen aus Eichen-Kiefern-Mischbeständen. Forst und Holz 62 (9), 17–21.
- Bayerl, G. (2007): Niederlausitz. In: W. Konold, R. Böcker & U. Hampicke (Hrsg.), Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege. 21. Ergänzungslieferung. Weinheim: WILEY-VCH, 1–21.
- Becker, J. (1988): Aggregation in landwirtschaftlichen Gesamtrechnungen über physische Maßstäbe. Dissertation. Gießen: Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Bender, B., Chalmin, A., Reeg, T., Konold, W., Mastel, K. & Spiecker, H. (2009): Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern. Leitfaden für die Praxis. Freiburg: Institut für Waldwachstum der Universität Freiburg.
- Berghaus, H. (1854): Landbuch der Mark Brandenburg und des Margrathums Nieder-Lausitz in der Mitte des 19. Jahrhunderts oder geographisch-historisch statistische Beschreibung der Provinz Brandenburg. Brandenburg: Adolph Müller.
- Blackbourn, D. (2006): Die Eroberung der Natur. Eine Geschichte der deutschen Landschaft. München: Deutsche Verlagsanstalt.
- BLE (2008): Versorgungsbilanz Getreide und Mehl: 2004/2005/2006/2007/2008. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE).
- BMELV (2009a): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW – Verlag für neue Wissenschaft.
- BMELV (2009b): Agrarbericht. Ergebnisse der Testbetriebe 2009. Bonn: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).
- BMU (2003): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Bonn: Bundesministerium für Umwelt (BMU).
- Bock und Polach, C. v. (2011): Die Bedeutung von Sozialkapital und Netzwerken für die saisonale Migration polnischer Arbeitskräfte nach Deutschland. Am Beispiel des brandenburgischen Spargelanbaus. Aachen: Shaker Verlag.
- Bouman, B. A. M. (2007): A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. Agricultural Systems 93 (1–3), 43–60.
- Boyer, J. S. (1982): Plant productivity and environment. Science 218, 443–448.
- Braun, J. v. (2008): Stellungnahme zur Öffentlichen Anhörung des Ausschusses für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Deutschen Bundestages: „Entwicklung der national und international steigenden Lebensmittelpreise und die Anforderungen insbesondere an die Landwirtschaftspolitik zur weltweiten Bekämpfung des Hungers“. Berlin: Deutscher Bundestag.
- Breckle, S.-W. (2005): Möglicher Einfluss des Klimawandels auf die Waldvegetation Nordwestdeutschlands? LÖBF-Mitteilungen 2, 19–24.
- Bronstert, A., Vollmer, S. & Ihringer, J. (1995): Die Bedeutung von Flurbereinigungsmaßnahmen für das Abflussverhalten von Starkniederschlägen in ländlichen Gebieten. Wasser & Boden 47 (9), 29–46.
- Buczko, U. & Bens, O. (2006): Assessing soil hydrophobicity and its variability through the soil profile using two different methods. Soil Science Society of America Journal 70, 718–727.
- CMA (2003): Gemüse-Beliebtheitsskala (Onlinepublikation). <http://www.flensburg-online.de/gesundheit/beliebtes-gemuese-der-deutschen.html> (15.03.2011).

- de Gelder, A., Heuvelink, E. & Opdam, J. J. G. (2004): Tomato yield in a closed greenhouse and comparison with simulated yields in closed and conventional greenhouses. In: G. van Straten, G. P. A. Bot, W. T. M. van Meurs & L. M. F. Marcelis (Hrsg.), ISHS Acta Horticulturae 691: International Conference on Sustainable Greenhouse Systems – Greensys2004. Leuven: Acta-hort.
- Demmeler, M. (2008): Ökologische und ökonomische Effizienzpotenziale einer regionalen Lebensmittelbereitstellung – Analyse ausgewählter Szenarien. Dissertation. München: Technische Universität München.
- Diepenbrock, W., Ellmer, F. & Léon, J. (2009): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 2. Auflage. Stuttgart: Eugen Ullmer.
- Dietrich, O. & Quast, J. (2004): Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt von Feuchtgebieten: Modelluntersuchungen am Beispiel des Spreewaldes. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 43 (1), 65–76.
- Drastig, K., Prochnow, A. & Brunsch, R. (2010): Wassermanagement in der Landwirtschaft. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 3. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Drastig, K., Prochnow, A. & Brunsch, R. (2011): Water for agriculture in Brandenburg (Germany) – Wassermanagement in der Landwirtschaft in Brandenburg (Deutschland). Die Erde 142 (1/2), im Druck.
- Driescher, E. (2003): Veränderungen an Gewässern Brandenburgs in historischer Zeit. Studien und Tagungsberichte 47. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg.
- Efken, J., Haxsen, G. & Pelikan, J. (2009): Der Markt für Fleisch und Fleischprodukte. Agrarwirtschaft 58 (1), 53–65.
- Ehlers, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- EU-KOM (2010): Standards of Food Quality (Onlinepublikation). <http://ec.europa.eu/agriculture/quality/door/list.html> (18.02.2011). Europäische Kommission (EU-KOM).
- Fachverband Biogas (2010): Biogas Branchenzahlen 2010 (Onlinepublikation). [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_PM\\_01\\_11/\\$file/11-01-07\\_Biogas%20Branchenzahlen%202010\\_erv.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_PM_01_11/$file/11-01-07_Biogas%20Branchenzahlen%202010_erv.pdf) (11.03.2011). Freising: Fachverband Biogas.
- Fock, T. & Müller, M. (2002): Analyse des landwirtschaftlichen Fachkräfte- und Bildungsbedarfs im Land Brandenburg. Teltow: Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz und Landwirtschaft.
- Fuhrer, J. & Jasper, K. (2009): Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. AGRARForschung 16 (10), 396–401.
- Gaul, T. (2009): Folgen für den Pflanzenbau. Neue Landwirtschaft 20 (6), 64–65.
- Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lahmer, W., Lasch, P., Stock, M., Suckow, F., Wechsung, F. & Werner, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK-Report 83. Potsdam: Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Grundmann, P. & Kimmich, C. (2008): Ausbau der Energiepflanzennutzung und regionale Flächenkonkurrenz. Gutachten zur Untersuchung des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).
- Grünewald, U. (2010): Wasserbilanzen der Region Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 7. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Gurrath, P. (2008): Vom Erzeuger zum Verbraucher: Fleischversorgung in Deutschland. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Haber, W. (2000): Die Kultur der Landschaft. Von der Ästhetik zur Nachhaltigkeit. In: S. Appel, E. Duman, F. Kohorst & F. Schafranski (Hrsg.), Wege zu einer neuen Planungs- und Landschaftskultur. Kaiserslautern: Universität Kaiserslautern, 1–19.

- Hagedorn, K. (2008): Integrative and segregative institutions: a dichotomy for nature-related institutional analysis. In: C. Schäfer, C. Rupschus & U. J. Nagel (Hrsg.), *Enhancing the Capacities of Agricultural Systems and Producers*. Weikersheim: Marggraf, 26–38.
- Hanke, G. (2005): Klimawandel. Herausforderung aus walddökologischer und waldbaulicher Sicht. *LÖBF-Mitteilungen* 2, 25–28.
- Helfrich, T. & Konold, W. (2010): Formen ehemaliger Niederwälder und ihre Strukturen in Rheinland-Pfalz. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* 44, 157–168.
- Hörnig, G. & Scherping, E. (1993): Untersuchung von Wasserverbrauch sowie Abwasseranfall und Behandlung in großen Milchviehbetrieben. Projektabschlussbericht. Bornim: Institut für Agrartechnik.
- Ikerd, J. E. (2004): The globalization of agriculture: implication for sustainability of small horticultural farms. In: L. Bertschinger & J. D. Anderson (Hrsg.), *ISHS Acta Horticulturae* 638. XXVI International Horticultural Congress: Sustainability of Horticultural Systems in the 21<sup>st</sup> Century. Toronto: ISHS.
- Jenssen, M. (2009): Der klimaplastische Wald im Nordostdeutschen Tiefland – forstliche Anpassungsstrategien an einen zu erwartenden Klimawandel. *Wald im Klimawandel – Risiken und Anpassungsstrategien*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 42, 101–117.
- Kätzel, R. (2009): Möglichkeiten und Grenzen der Anpassung an Klimaextreme – eine Betrachtung zu baumartenspezifischen Risiken aus Sicht der Ökophysiologie. *Wald im Klimawandel – Risiken und Anpassungsstrategien*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 42, 22–34.
- Kätzel, R. & Kallweit, R. (2008): Wie sieht das forstliche Monitoring der Zukunft aus? – Anspruch und Realisierungsmöglichkeiten in Brandenburg. Wissenstransfer in die Praxis. Beiträge zum dritten Winterkolloquium am 28. Februar 2008 in Eberswalde. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 35, 26–34.
- Kätzel, R., Maurer, W. D., Konnert, M. & Scholz, F. (2005): Genetisches Monitoring in Wäldern. *Forst und Holz* 5, 179–183.
- Kögl, H. (2010): Potenziale der Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten aus Brandenburg in Berlin. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 10. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Kögl, H. & Tietze, J. (2010): Erzeugung, Verarbeitung und Vermarktung von Lebensmitteln. Forschungsbericht 2/2010, Professur Landwirtschaftliche Betriebslehre und Management. Rostock: Universität Rostock.
- Kölling, C. (2007): Klimahüllen für 27 Baumarten. *AFZ – Der Wald* 23, 1242–1245.
- Konold, W., Schwineköper, K. & Seiffert, P. (1996): Zukünftige Kulturlandschaft aus der Tradition heraus. In: W. Konold (Hrsg.), *Naturlandschaft – Kulturlandschaft*. Landsberg: Ecomed, 289–312.
- Körber-Grohne, U. (1995): *Nutzpflanzen in Deutschland – von der Vorgeschichte bis heute*. Hamburg: Nikol Verlagsgesellschaft.
- Kratz, R. & Pfadenhauer, J. (Hrsg.) (2001): *Ökosystemmanagement für Niedermoore: Verfahren und Strategien der Renaturierung nord- und ostdeutscher Niedermoore*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Krausch, H.-D. (2008): *Beiträge zur Wald-, Forst- und Landschaftsgeschichte Brandenburgs*. Regensburg: Verlag Kessel.
- Krause, K.-J. (1999): Sicherung und Pflege des Genius loci. In: S. Thabe (Hrsg.), *Räume der Identität – Identität der Räume*. Dortmunder Beiträge zur Raumplanung 98. Dortmund: Institut für Raumplanung Universität Dortmund, 38–58.
- Kretschmer, H. (Hrsg.) (2000): *Ökologisches Entwicklungskonzept Oberes Rhinluch*. ZALF-Bericht Nr. 43. Müncheberg: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V.
- KTBL (2008): *Wasserversorgung in der Rinderhaltung. Wasserbedarf – Technik – Management*. KTBL-Heft 81. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL).
- Leue, P., Quast, J. & Wenkel, K.-O. (1981): Use of control methods for irrigation systems in the German Democratic Republic. In: *ICID-Congress*. Grenoble: Congress on Irrigation and Drainage (ICID), 171–191.

- Lischeid, G. (2010): Landschaftswasserhaushalt in der Region Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 2. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- LUA (2003): Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg – Kurzfassung zum Sachstandsbericht mit Konzeption, Beitrag zum Projekt Stabilisierung und Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes in Brandenburg. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg (LUA), Projektgruppe Landschaftswasserhaushalt.
- Massmann, G. (2002): Infiltration of River Water into the Groundwater, Investigation and Modelling of Hydraulic and Geochemical Processes during Bank Filtration in the Oderbruch, Germany. Freie Universität Berlin. Dissertation. Berlin: dissertation.de – Verlag im Internet GmbH.
- Massmann, G., Pekdeger, A., C., M., Quast, J. & Schafmeister, M.-T. (2003): Infiltration of river water into the groundwater – quantifying 250 years of iron reduction in an anoxic aquifer (Oderbruch, Germany). In: H. D. Schulz & A. Haderl (Hrsg.), Deutsche Forschungsgemeinschaft. Geochemical Process in Soil and Groundwater. Measurement – Modeling – Upscaling. GeoProc 2002. Weinheim: WILEY-VCH, 560–579.
- Mengel, P. F. (1930): Das Oderbruch. Eberswalde: Verlagsgesellschaft R. Müller.
- Meyers Konversationslexikon (1888): 6. Band. 4. Auflage, 1885–1892. Leipzig, Wien: Verlag des Bibliographischen Instituts.
- MIL (2010a): Agrarbericht 2010 des Landes Brandenburg. Potsdam: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL).
- MIL (2010b): Waldzustandsbericht 2009 der Länder Berlin und Brandenburg. Potsdam: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL).
- Mittler, R. (2006): Abiotic stress, the field environment and stress combination. Trends in Plant Science 11, 15–19.
- Mittler, R. & Blumwald, E. (2010): Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives. Annual Review of Plant Biology 61, 443–462.
- MLUV (2001): Agrarbericht 2000. Bericht zur Lage der Land- und Ernährungswirtschaft des Landes Brandenburg. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV).
- Möller, K. (2009): Aktuelle Waldschutzprobleme und Risikomanagement in Brandenburgs Wäldern. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 42, 14–21.
- Moreira, M.-B. (2004): Agriculture and food in the globalisation age. International Journal of Sociology of Agriculture and Food 12 (Special Issue: Globalization), 17–28.
- MUGV (2010): Binnenhochwasser im Oderbruch: Situation entschärft sich allmählich (Onlinepublikation). <http://www.mugv.brandenburg.de/cms/detail.php/5lbn1.c.99017.de> (02.03.2011). Potsdam: Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV).
- Müller, J., Lüttschwager, D. & Rust, S. (2007): Zum Wasserhaushalt in Kiefernbeständen auf grundwasserfernen Sandstandorten. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 32, 78–107.
- Müller, L. (1988): Efficiency of subsoiling and subsurface drainage in heavy alluvial soils of the G.D.R. Soil & Tillage Research 12, 121–134.
- MWE (2009): Jahreswirtschaftsbericht 2009 Land Brandenburg. Potsdam: Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten Brandenburg (MWE).
- Nederhoff, E. (2006): Closed greenhouse and heat producing greenhouse. Grower 61 (10), 67–69.
- Nölting, B. & Boekmann, T. (2005): Struktur der ökologischen Land- und Ernährungswirtschaft in Brandenburg und Berlin – Anknüpfungspunkte für eine nachhaltige Regionalentwicklung. discussion paper Nr. 18/05. Berlin: Technische Universität Berlin, Zentrum Technik und Gesellschaft.
- Ozkan, B., Kurklub, A. & Akcaoz, H. (2004): Corrigendum to „An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey“. Biomass and Bioenergy 26, 89–95.
- Pellmeyer, J. (2010): Auf der Suche nach Alternativen. Biogas-Journal Sonderheft Energiepflanzen, 78.

- Pena, J. (2005): Greenhouse Vegetable Production Economic Considerations, Marketing, and Financing, Aggie horticulture (Onlinepublikation) <http://aggie-horticulture.tamu.edu/greenhouse/hydroponics/index.html> (11. 03. 2011). College Station: Texas A&M University.
- Quast, J. (1973): Beitrag zur indirekten Parameterquantifizierung verarbeitungsadäquater geohydraulischer Modelle durch Analyse der Grundwasserdynamik. Dissertation A. Dresden: Technische Universität Dresden.
- Quast, J. (1983): Beitrag zur Entwicklung von Entwurfs- und Steuerungsmethoden sowie technischer Lösungen für bedarfsgerechte hydrotechnische Systeme der Bodenwasserregulierung. Dissertation B. Dresden: Technische Universität Dresden.
- Quast, J. (1994): Wechselwirkungen von Feuchtgebieten und Landschaftswasserhaushalt – Analysen und Management. 26. Hohenheimer Umwelttagung, 17–33.
- Quast, J. (1995): Wasserhaushalt und Feuchtgebiete in einer Trockenlandschaft – Zustand – Konflikte – Maßnahmen. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 36 (4), 207–213.
- Quast, J. (1997a): Trockenlegung und Landnutzung dominieren den Naturhaushalt des Oderbruchs – Anthropogene Veränderungen einer Auenlandschaft; Vortrag zur Historikertagung in Altraft am 21. Januar 1997 anlässlich „250 Jahre Trockenlegung des Oderbruchs“. Tagungsbericht Seelow. Müncheberg: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Institut für Hydrologie.
- Quast, J. (1997b): Wasserdargebot in Brandenburgs Agrarlandschaften und gebotene wasserwirtschaftliche Konsequenzen. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 35 (4), 267–277.
- Quast, J. (1998): Aktuelle wasserwirtschaftliche Fragen des Oderbruchs. In: G. Darkow & H.-R. Bork (Hrsg.), Die Bewirtschaftung von Niederungsgebieten in Vergangenheit und Gegenwart. ZALF-Bericht 34. Müncheberg: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., 57–72.
- Quast, J. (1999): Wege zu einem nachhaltigen Miteinander von Landnutzung, Naturschutz und Wasserwirtschaft. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 44, 323–347.
- Quast, J. (2006): Local actions within rural water management – Building blocks in a framework for Integrated River Basin Management. In: Institute of Hydraulics and Rural Water Management (Hrsg.), Proceedings of the International Symposium SOPHYWA am 28./29. 9. 2006. In honour of the retirement of Prof. Ferdinand Kastanek. Wien: Department of Water Atmosphere and Environment, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, 107–111.
- Quast, J. (2008): Wie können wir besser mit dem knappen Landschaftswasser haushalten? In: Ökologische Folgen des Klimawandels, 5. Stechlin-Forum, Mai 2008. Stechlin-Neuglobsow: Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), 31–48.
- Quast, J. & Böhm, G. (1998): Die Ermittlung der realen Evapotranspiration von Niedermoorgebieten unter den hydroklimatischen Bedingungen Nordostdeutschlands am Beispiel des Rhinluchs. In: E. Raschke (Hrsg.), Klimaforschungsprogramm des BMBF 1994–1997. Ergänzungsband. Geesthacht: GKSS.
- Quast, J., Dietrich, O., Blankenburg, J. & Heidt, P. (2001): Wasserhaushalt. In: R. Kratz & J. Pfadenhauer (Hrsg.), Ökosystemmanagement für Niedermoore: Verfahren und Strategien der Renaturierung nord- und ostdeutscher Niedermoore. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer & Co., 31–79.
- Quast, J., Dietrich, O. & Dannowski, R. (1993): Die Folgen der Entwässerung und Nutzung von Niedermooren für den Landschaftswasserhaushalt. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg. Sonderheft Niedermoore, 11–14.
- Quast, J. & Ehlert, V. (2005): Concept ODERBRUCH 2010 as an example towards sustainable multifunctional use of polders in the context of integrated land, water and flood management. ICID 21<sup>st</sup> European Regional Conference integrated land and water resources management – towards sustainable rural development, May 2005, Frankfurt (Oder), Germany and Slubice, Poland. Müncheberg: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Institut für Landschaftshydrologie.
- Quast, J. & Kalettka, T. (2005): Schritte zur Wiedererlangung eines guten ökologischen Zustandes in den historisch verbauten Altwässern des Oderbruchs und in den Zuflüssen im westlichen Einzugsgebiet. Gewässerentwicklung in der Kulturlandschaft. Schriften der DWHG, Bd. 7. Siegburg: Deutsche Wasserhistorische Gesellschaft e.V. (DWHG).

- Quast, J. & Lukianas, A. (1999): Rehabilitation of Polder Systems on the Floodplains regions of Oder River/Germany and the Nemunas River/Lithuania. In 17<sup>th</sup> International Congress on Irrigation and Drainage, Water and Agriculture in the next Millenium, 1–19 September 1999, Granada, Proceedings, Question 49.1.
- Quast, J. & Müller, G. (1973): Untersuchungen der regionalen Grundwasserströmung im Oderbruch. *Wasserwirtschaft/ Wassertechnik*. 23 (7), 235–241.
- Quast, J., Schwarz, H. & Dannowski, R. (1978): Zur Steuerung großflächiger Grundwasserregulierungssysteme. In: Tagungsbericht Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR Nr. 166. Berlin: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, 397–405.
- Quast, J. & Wenkel, K.-O. (2004): Nachhaltiges Landschaftsmanagement: Machbar oder nur wissenschaftlicher Anspruch? In: G. Lutze & F. Reusswig (Hrsg.), *Nachhaltiges Brandenburg: Kulturlandschaft zwischen Funktionalität und Ästhetik*. München: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., 7–24.
- Redecker, B., Finck, P., Härdtle, W., Riecken, U. & Schröder, E. (Hrsg.) (2002): *Pasture Landscapes and Nature Conservation*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Reeg, T., Bemann, A., Konold, W., Murach, D. & Spiecker, H. (Hrsg.) (2009): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. Weinheim: WILEY-VCH.
- Reeg, T. & Brix, M. (2008): Zielgebietsauswahl für Agroforstsysteme – Vorschläge unter Berücksichtigung der verschiedenen Interessen der Landnutzung. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 40 (6), 173–179.
- Reeg, T. & Konold, W. (2011): Nützlich und schön – Bäume in der Agrarlandschaft in Vergangenheit und Zukunft. *Alemannisches Jahrbuch* 57, im Druck.
- Roloff, A. & Grundmann, B. (2008): Bewertung von Baumarten anhand der KlimaArtenMatrix. *AFZ – Der Wald* 20, 1086–1087.
- Schnauss, M. (2001): Der ökologische Fußabdruck der Stadt Berlin. Im Auftrag der Enquetekommission „Globale Agenda 21 / Zukunftsfähiges Berlin“ des Berliner Abgeordnetenhauses (KDRs 14/105a) (Onlinepublikation) <http://www.agenda21berlin.de/fussabdruck/> (18.02.2011).
- Schröder, J. (2009): Risiken durch Witterungsextreme für Kiefer und Eiche in Nordostdeutschland: Ansätze zur Schätzung des Gefährdungspotentials. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 42, 35–43.
- Schubert, H. (2007): *Lebensmittelwirtschaft. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume*, Nr. 17. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Schumacher, K.-D. & Chilla, B. (2009): Der Markt für Getreide und Ölfrüchte. *Agrarwirtschaft* 58 (1), 15–25.
- Seiffert, P., Schwineköper, K. & Konold, W. (1995): *Analyse und Entwicklung von Kulturlandschaften. Das Beispiel Westallgäuer Hügelland*. Landsberg: Ecomed.
- Stackebrandt, W. & Manhenke, V. (Hrsg.) (2004): *Atlas zur Geologie von Brandenburg*. CD-ROM. 3. Auflage als digitale Version. Kleinmachnow: Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg.
- Suchomel, C. & Konold, W. (2008): *Niederwald als Energiequelle – Chancen und Grenzen aus Sicht des Naturschutzes*. *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br* 98, 61–120.
- Treffny, R. (2003): *Der „Ökologische Fußabdruck“ der Münchner – Eine Analyse der Lebensweise der Einwohner Münchens durch einen Indikator der Nachhaltigkeit*. Diplomarbeit. München: Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Valena, T. (2005): *Der gebaute Ort in Zeiten seiner virtuellen Infragestellung*. In: Kulturstiftung Dessau Wörlitz, Stiftung Bauhaus Dessau & Stiftung Luthergedenkstätten in Sachsen-Anhalt (Hrsg.), *Biosphärenreservat Flusslandschaft Mittlere Elbe. Genius Loci*. Dessau: Cuno, 53–68.
- Vetter, A., Heiermann, M. & Toews, T. (Hrsg.) (2009): *Anbausysteme für Energiepflanzen*. Frankfurt/Main: DLG-Verlag.
- Wackernagel, M. & Rees, W. (1997): *Unser Ökologischer Fußabdruck. Wie der Mensch Einfluss auf die Umwelt nimmt*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag.
- WASY (1999): *Erarbeitung von Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Rahmen- und Bewirtschaftungsplanung im Oderbruch*. Studie für das Landesumweltamt Brandenburg. Potsdam: WASY GmbH.

- Wechsung, F., Gerstengarbe, F.-W., Lasch, P. & Lüttger, A. (Hrsg.) (2009): Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel. PIK-Report 112. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Weigel, H. J. (2005): Pflanzen unter zukünftigem Klima. Wie beeinflusst der Klimawandel die Pflanzenproduktion? *Gesunde Pflanzen* 57 (6), 6–17.
- Witzke, H. v., Noleppa, S. & Schwarz, G. (2009): Global Agricultural Market Trends Revisited. Working Paper 89. Berlin: Institut für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus Humboldt-Universität zu Berlin.
- Young, O. R. (2002): *The Institutional Dimensions of Environmental Change: Fit, Interplay and Scale*. Cambridge: MIT Press.
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U. & Cramer, W. (2005): Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. UBA-Forschungsbericht. (Onlinepublikation). <http://www.umweltdata.de/publikationen/fpdf-l/2947.pdf> (08.03.2011). Dessau: Umweltbundesamt.

---

Inge Broer (✉)

Universität Rostock  
inge.broer@auf.uni-rostock.de

Katrin Drastig (✉)

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)  
kdrastig@atb-potsdam.de

Konrad Hagedorn (✉)

Humboldt-Universität zu Berlin  
k.hagedorn@agr.ar.hu-berlin.de

Ralf Kätzel (✉)

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), Landesbetrieb Forst Brandenburg  
ralf.kaetzel@lfe-e.brandenburg.de

Hans Kögl (✉)

Universität Rostock  
hans.koegl@uni-rostock.de

Werner Konold (✉)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
werner.konold@landespflege.uni-freiburg.de

Joachim Quast (✉)

Institut für Landschaftswasserhaushalt am Leibniz-Zentrum für Agrarlandforschung (ZALF) e.V.,  
Müncheberg  
jqkast@zalf.de

Reiner Brunsch

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)

Klaus Höppner

Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde (LFE), Landesbetrieb Forst Brandenburg

Annette Prochnow

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)

Alfred Pühler

Universität Bielefeld

Mihaiela Rus

Humboldt-Universität zu Berlin

### **III. Infrastrukturen neu denken: gesellschaftliche Funktionen und Weiterentwicklung**

*Eva Barlösius, Karl-Dieter Keim, Georg Meran, Timothy Moss, Claudia Neu*

#### **Gegenwärtige Situation der Infrastrukturen**

Klimawandel, knappe Rohstoffe, Energie- und Finanzkrise sowie demographischer Wandel schwächen nachhaltig den Glauben an ein immerwährendes Wirtschaftswachstum, das mit einer Steigerung der Lebensqualität für alle Menschen weltweit einhergeht. Zugleich wird sichtbar, dass die Folgen der Krisen sozial wie territorial ungleich verteilt sind. Von den Folgen der Klimaerwärmung sind vor allem jene Regionen betroffen, die ohnehin bereits unter Trockenheit und Dürre leiden. Erschwerend kommt hinzu, dass diese Regionen nur über wenige ökonomische und soziale Ressourcen verfügen, um die negativen Folgen abzufangen. Weltweit betrachtet, wird das Zusammenspiel von Klimawandel und demographischem Wandel bisher vor allem unter dem Stichwort Klimaflüchtlinge diskutiert, die Wirkungen auf regionaler Ebene sind wenig beachtet worden. Doch auch in Deutschland sind die Auswirkungen des Klimawandels nicht gleich verteilt, schon heute wird für die Fokusregion Berlin-Brandenburg über zunehmende Trockenheit berichtet.

Welche Fragen ergeben sich also hieraus zum Beispiel im Bereich der Wasserinfrastrukturen? Die genannten Entwicklungen treffen zum einen auf die Folgen des industriellen Strukturwandels, der in den vergangenen Jahrzehnten den Wasserverbrauch der Industrie und des Gewerbes drastisch sinken ließ. Zum anderen verringerte sich aufgrund des demographischen Wandels die Zahl der Nutzer. Zudem führte ein neues Umweltbewusstsein seit den 1980er-Jahren in Deutschland zu besonders sparsamem Wasserverbrauch. Was positiv klingt, bedeutet für die vorhandene Wasserver- und -entsorgungsinfrastruktur allerdings eine besondere Belastung. Die Leitungen werden nicht mehr ausreichend durchgespült, sodass hygienische Probleme entstehen können. Die Unterauslastung führt weiter dazu, dass die Endverbraucher mit immer höheren Wasser- und Abwasserkosten belastet werden. Es scheint zwangsläufig: Sinkende Bevölkerungszahlen bedeuten weniger und immer teurere Infrastrukturen. Lösungsvorschläge für dieses Dilemma bleiben jedoch häufig in dem Versuch stecken, sich an die neuen Verhältnisse anzupassen. So werden auch die Wasserinfrastrukturen geschrumpft, rückgebaut oder ganz geschlossen.

Dies gilt in ähnlicher Weise für zahlreiche Infrastrukturen. Insbesondere in vielen ländlichen Regionen wurden sie in ihrer gegenwärtigen Verfasstheit prekär. Zumeist wird die verminderte Passfähigkeit als Größen- und Niveauprobem beschrieben, das heißt als quantitative Überdimensionierung. Dies erklärt, weshalb

das „Schrumpfen“ der Infrastrukturen und Absenken auf Mindeststandards als Anpassungslösungen bevorzugt werden (Barlösius & Neu 2007). Die gegenwärtigen infrastrukturellen Um-, Rück- und Umbauten schreiben zumeist die historisch gewachsenen, auf die industrielle Produktion, den „sorgenden Wohlfahrtsstaat“ (de Swan 2003) und die Grenzen des Nationalstaats abgestimmten Spurungen, Trassierungen, räumlichen Fixierungen und Lokalisierungen fort – nur kleiner und knapper dimensioniert, in der Fläche ausgedünnt und auf einem quantitativ reduzierten Niveau. Ein wichtiger Grund dafür ist, dass den meisten Infrastrukturen eine aufwändige Materialisierung, Institutionalisierung und Habitualisierung zu eigen ist und ihnen folglich ein enormes Beharrungsvermögen innewohnt. Die Debatten wie auch die real stattfindenden Umbauten zielen oftmals mehr darauf, die historisch gewachsenen Infrastrukturen in ihrer bisherigen baulichen Realisierung und institutionellen Verfasstheit aufrechtzuerhalten, wenn auch geschrumpft, privatisiert und mit neuen Praktiken ausgestattet, als sich daran zu orientieren, welche Funktionen sie erfüllen sollten, ob neue entstehen müssten oder bisherige überholt sind. Auf zurückgehende Schülerzahlen wird zumeist mit einer Zusammenlegung von Schulen und der Heraufsetzung der Schülerzahlen pro Klasse reagiert, oder Schulstandorte werden ganz aufgegeben. Im Ergebnis fahren nun die Schüler zu den zentralisierten Schulstandorten. Dezentrale oder kleinere Lösungen verbreiten sich nur langsam und werden von oberen Schulbehörden oft misstrauisch beobachtet. Innovative Lösungen wie Flexibilisierung und Bürgerpartizipation werden zwar eingefordert, doch nur selten erfolgreich umgesetzt. Woran liegt das?

Um einen Perspektivwechsel im Hinblick auf neue Lösungsansätze herbeizuführen, ist es nötig, zu den Ursprüngen und Grundlagen der Industriegesellschaft und ihrem besonderen Verständnis von Infrastruktur und Staatlichkeit zurückzukehren. In Deutschland ist die Bereitstellung von Infrastruktur durch staatliche Organe eng mit wirtschaftlichem Aufschwung und der Erschließung geographischer Räume, aber auch mit der Versorgung und sozialen Sicherung der Bevölkerung (Daseinsvorsorge) verbunden. Denn der Ausbau der Straßen, der Strom- und Wasserversorgung, der Schulen und Kindergärten erfolgte stets unter der Annahme, dass sich diese staatlichen oder parastaatlichen Vorleistungen später durch erhöhtes wirtschaftliches Wachstum (in den Regionen) und steigenden Wohlstand auszahlen würden. So beförderte die bereitgestellte Infrastruktur auch die soziale, ökonomische und territoriale Integration der Gesellschaft.

Rückbau, Abbau und Schließung von Infrastrukturangeboten berühren somit neuralgische Punkte des bundesdeutschen Selbstverständnisses, denn sie betreffen den Zusammenhang von Infrastruktur und wirtschaftlicher Prosperität, territorialer Ungleichheit und sozialer Kohäsion (Neu 2006, 2009). Welche Funktionen können und sollen Infrastrukturen in Zukunft erfüllen? Kann die territoriale und soziale Integration von Räumen wie beispielsweise der Eifel oder Ostvorpommern durch Infrastrukturangebote auch weiterhin gelingen? Welche neuen Angebotsformen müssen gefunden werden, um die Daseinsvorsorge und Teilhabe der Bevölkerung aufrechtzuerhalten (flexibler, bürgernah, weniger/mehr, qualitativ besser)? Wie kann durch ein besseres Zusammenspiel zwischen Markt, Staat und Bürgern die Ausstattung mit Infrastrukturen weiterentwickelt werden?

## Ausgangspunkt: LandInnovation

Der Gedanke, eine grundlegend neue Sicht auf Infrastrukturen zu entwickeln, erwuchs aus den Ergebnissen des Projekts *LandInnovation* an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Laufzeit 2004 bis 2007). Ziel von *LandInnovation* war es, Handlungsoptionen und Zukunftschancen für periphere ländliche Räume zu identifizieren, speziell für die brandenburgischen Regionen Uckermark, Barmin und Uecker-Randow in Mecklenburg-Vorpommern. Ausgehend von einer Analyse der Wirtschafts- und Sozialstrukturen dieser drei Regionen, lag der Schwerpunkt der Arbeit darauf, den Zusammenhang von Lebensqualität und Infrastrukturen darzustellen, konkret, die Bedeutung der infrastrukturellen Ausstattung für „die Zufriedenheit und das Wohlbefinden“ (Hüttl et al. 2008: 333) der Menschen in diesen Regionen hervorzuheben und aufzuzeigen, dass in einer auf die Regionen abgestimmten Weiterentwicklung der Infrastrukturen eine Zukunftsoption für diese peripheren ländlichen Räume besteht. Diese Chance der Weiterentwicklung ergreifen zu können setzt jedoch voraus, den Aufbau und den Erhalt von Infrastrukturen nicht nur unter der Prämisse verbesserter Arbeits- und Ausbildungsangebote zu betrachten, sondern eine Perspektive zu entwickeln, die eine „kollektiv geteilte und positiv besetzte Neuorientierung kommunaler Entwicklung jenseits von Wachstum“ erlaubt (Beetz 2007: 16). Erst auf dieser Basis können Infrastrukturen stärker als bislang als Beitrag zur Lebensqualität begriffen werden.

Die vor Ort durchgeführten Fallstudien zu vier Infrastrukturbereichen (Schulbildung, Gesundheit, Pflege und Mobilität) ergaben, dass es in den Untersuchungsregionen bereits eine Vielzahl von Projekten gibt, die auf „Funktionsverschiebungen und -erweiterungen“ (Hüttl et al. 2008: 347) bei der Nachfrage nach infrastrukturellen Leistungen reagieren. Viele dieser Projekte stoßen jedoch an systemimmanente Grenzen, die eine Neuorientierung erschweren. Manches scheitert an den gewaltigen finanziellen Mitteln, wie sie für Straßen oder Abwasserleitungen erforderlich sind. Ebenso erschwert die hohe institutionelle Regelungsdichte Umgestaltungen, die erforderlich wären, um beispielsweise nicht mehr nachgefragte Funktionen von Infrastrukturen aufzugeben und neue Funktionen aufzunehmen. Somit wird der Veränderungsdruck, unter dem die Infrastrukturen in peripheren ländlichen Regionen stehen, nicht allein, wie häufig in der Öffentlichkeit diskutiert, durch die ökonomische Schwäche und den sozialstrukturellen und demographischen Wandel hervorgerufen. Vielmehr werden Veränderungen durch einen den Infrastrukturen selbst innewohnenden Strukturkonservatismus behindert. Denn ihre vorgegebenen technischen Bedingungen sind oft wenig flexibel, und auch die organisatorischen sowie institutionellen Strukturen und rechtlichen Regelungen, die Infrastrukturen begleiten, lassen nur wenig Spielraum für ihre Neuausrichtung.

Ein Fazit aus *LandInnovation* lautete deshalb, dass weder durch Zentralisierung noch durch quantitative Anpassung oder den Rückzug aus der Fläche die infrastrukturelle Ausstattung in peripheren ländlichen Räumen dauerhaft gesichert oder weiterentwickelt werden kann. Vielmehr ist grundsätzlich zu fragen, ob die historisch gewachsenen Infrastrukturen in ihrer bisherigen materiellen (z. B. baulichen) Realisierung und institutionellen Verfasstheit aufrechterhalten werden

können. Dazu ist vorab zu klären, welche Funktionen Infrastrukturen zukünftig erfüllen sollen.

Entsprechend der sozialstrukturellen Betrachtungsweise und der Konzentration auf den Zusammenhang von Infrastruktur und Lebensqualität formulierte *LandInnovation* folgende normative Vorgaben für eine Neuorientierung der Infrastrukturen:

- Die Infrastrukturen sollen Zugänge zu Dienst- und Wissensleistungen sichern, insbesondere zu Bildung, weil vorwiegend darüber Lebenschancen eröffnet werden.
- Die Infrastrukturen haben Partizipationschancen wie die Befähigung zur bewussten Teilhabe, zur Entscheidung und Mitgestaltung zu sichern.
- Die Infrastrukturen müssen die Grundsicherungen gewährleisten, etwa Unterstützung und Hilfe bei Krankheit, Pflege und Not sowie Schutz vor Kriminalität (Hüttl et al. 2008: 350 ff.).

Hier wird diese Sichtweise auf Infrastrukturen aufgegriffen und erweitert. Erweiterungen werden vorgenommen, weil die Analyse peripherer ländlicher Regionen erkennen ließ, unter welchen Veränderungsdruck Infrastrukturen insgesamt gegenwärtig geraten. Besonders interessieren die Wirkungen der verschiedenen Facetten globaler Veränderungsprozesse auf Infrastrukturen in Städten und Regionen. Hierzu gehören neben dem Klimawandel die Globalisierung von Märkten, Austauschprozesse und Regulierungsmodi sowie der demographische Wandel. Bislang werden Funktionsverschiebungen, -erweiterungen oder auch -verluste zu wenig betrachtet. Um die Infrastrukturen zukunftsfähig weiterzuentwickeln, ist ihr Funktionswandel systematisch zu erfassen. Dazu ist eine Perspektivenverschiebung erforderlich: Es gilt, von den Funktionen und nicht von der materiellen und institutionellen Verfasstheit der Infrastrukturen auszugehen. Dies setzt voraus, sich von der historischen Gewachsenheit (Pfadabhängigkeit) zu lösen und Infrastrukturen anders zu denken, nämlich funktional. So können Perspektiven für die Entwicklung zukunftsfähiger und regional abgestimmter Infrastrukturen geöffnet und Handlungsoptionen bestimmt werden.

## Leistungen der Infrastrukturen in der Vergangenheit

Die meisten heutigen Infrastrukturen wurden im 19. Jahrhundert grundgelegt und aufgebaut. Ihre Einrichtung diente vor allem dazu, die Folgen und Anforderungen der Industrialisierung und Verstädterung zu bewältigen und den Nationalstaatenbildungsprozess materiell zu untermauern und symbolisch zu unterstützen. Die Infrastrukturen bildeten wichtige Scharniere zwischen diesen drei Prozessen, teilweise verketteten sie diese miteinander. Über die verzweigten Leitungssysteme der Wasser-, Gas-, Stromversorgung, der Eisenbahnschienen und der Aneinanderreihung von Telegraphenmasten über große geographische Distanzen waren die Scharnier- und Verkettungswirkungen für jedermann sichtbar und persönlich erfahrbar. Während diese Infrastrukturen mittels raumüberbrückender „Verbindungsarten“ (Simmel 1992) Angleichungs- und Vereinheitlichungsprozesse in Gang setzten, führten

andere Infrastrukturen wie Bildungs- und Kultureinrichtungen ähnliche Wirkungen durch räumliche Bindungen und punktförmige Lokalisierungen herbei, indem sie zu „Drehpunkten“ (Simmel 1992), zu festen Zentren sozialer und kultureller Beziehungsformen wurden. Ohne solche Stützpunkte fehlen den Beziehungsformen die unerlässlichen räumlichen Fixierungen, um die sie sich gruppieren können, weshalb sie als unentfernbar wahrgenommen und verteidigt werden.

Der Aufbau und die Garantie von Infrastrukturen stellten gewaltige Vorleistungen für die Wirtschaft bereit, da sie eine flächendeckende Industrialisierung förderten.<sup>1</sup> Infrastrukturen bilden die Basis für regionale und internationale Wirtschaft. Stets ging man davon aus, dass ihr Auf- und Weiterbau sowie ihr Erhalt ausschlaggebend für den (regionalen) Wohlstand sind. Gleichermaßen bildeten Infrastrukturen einen Grundpfeiler des sorgenden Wohlfahrtsstaates und trugen auf diese Weise zur sozialen Integration bei, und zwar insbesondere dadurch, dass sie sozial unterschiedslos zugänglich sein sollten, also „jenseits von Stand und Klasse“ (Beck 1986). Im sorgenden Wohlfahrtsstaat erstreckte sich die staatliche Verantwortung auf eine „flächenmäßige Erschließung“ mittels Infrastrukturen, die einerseits als „selbstverständliche Voraussetzung staatlicher Einheitsbildung“ galt (Hermes 2005: 113) und die andererseits durch eine räumlich einheitliche bzw. gleichwertige infrastrukturelle Ausstattung auf dem gesamten Territorium gleiche Partizipationschancen hinsichtlich gesamtgesellschaftlichen Entwicklungen ermöglichen sollte.

Der Auf- und Ausbau in der Fläche diente somit dem „Ziel einer ‚vollständigen Integration‘ über den Weg infrastruktureller Erschließung bislang unterschiedlich entwickelter Regionen“ (van Laak 1999: 285). Diesem „geheimen Lehrplan“ der Infrastrukturpolitik (van Laak 2006: 168) folgend, diente die „Schaffung einheitlicher Lebensverhältnisse“ – seit 1994 laut Grundgesetz die „Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse“ (Artikel 72, Absatz 2) – jahrzehntelang als politischer Leitgedanke, um die Lenkungs politik des Bundes zu legitimieren, aber – materiell – auch dazu, um unterschiedlich entwickelte Räume an ein gleichmäßig hohes Wohlstandsniveau heranzuführen. Der Wohlfahrtsstaat der „1950er und 1960er Jahre versprach seinen Bürgern die Teilhabe an allen Infrastrukturen, die von ihm flächendeckend auf einem hohen Leistungsniveau bereitgestellt wurden. Die Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse wurde zum ‚zentralen sozialpolitischen Infrastrukturparadigma‘“ (Kersten 2008: 1). Nicht nur in den Städten, sondern auch in den ländlichen Regionen wurde ein hohes Niveau an Infrastrukturen entwickelt, auch deshalb, weil die für Städte entwickelten Standards weitgehend auf die ländlichen Regionen übertragen wurden, was der geltenden Auffassung des politischen Gebots der Einheitlichkeit bzw. Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse entsprach.

In der Zeitgeschichte hat es sich eingebürgert, den Zeitraum von der Mitte der 1950er- bis zur Mitte der 1970er-Jahre als das „Goldene Zeitalter“ (Golden Age, Trente Glorieuses) zu titulieren. Diese Würdigung verdankt sich maßgeblich der infrastrukturellen Erschließung und Ausgestaltung in dieser Epoche, die die „Ge-

---

<sup>1</sup> Die Einrichtung und Gewährleistung der Infrastrukturen erfolgte nach jener Herrschaftsform (Steuerungsform), die für moderne Staaten typisch ist: der Bürokratisierung. Bis heute lässt sich so die hohe institutionelle Regelungsdichte erklären.

staltbarkeit von Zukunft“ versprach und so das Vertrauen der Bevölkerung in die Zukunft stärkte. Die staatliche Planung der Infrastrukturen verstand sich als „ein öffentlicher, verfahrensgestützter Vorgriff auf die Zukunft, der die räumliche, infrastrukturelle und daseinssichernde Ausgestaltung von Gesellschaften betreibt“ (van Laak 2008a: 306). In der Planung wurde – dem Zeitgeist gemäß – immerwährende Prosperität vorausgesetzt: sowohl der Bevölkerung wie auch der Ökonomie. Entsprechend wurden die Infrastrukturen auf Zuwachs gebaut und vorgehalten, um Bevölkerungszuwachs und eine florierende Wirtschaftskraft ohne Probleme verkraften zu können. In Zeiten von Bevölkerungsrückgang, abnehmender Wirtschaftsdynamik und veränderter Nachfrage erweisen sich deshalb die so ausgelegten Infrastrukturen und Vorsorgeeinrichtungen als in großen Teilen überdimensioniert, ökonomisch nicht tragbar und wenig anpassungsfähig; kurz: als wenig finanz- und demographiefest (Barlösius 2009).

### **Wasser- und Bildungsinfrastrukturen: Gemeinsamkeiten und Unterschiede**

Das Vorhaben, Infrastrukturen „anders zu denken“, macht eine vorläufige Begriffsklärung erforderlich. Infrastrukturen werden hier als gesellschaftliche Basiseinrichtungen betrachtet, die Vorleistungen für das Gelingen einer differenzierten Gesellschafts- und Wirtschaftsordnung erbringen. Ihre Funktion ist es, einen „möglichst reibungslosen und zweckbestimmten Ablauf von gesellschaftlichen Handlungen zu sichern“ (van Laak 2008b: 107). Dies ermöglichen sie durch eine gemeinschaftliche, das heißt kooperative Bewirtschaftung gesellschaftlicher und natürlicher Ressourcen. Die Schaffung, Garantie und Einrichtung von Infrastrukturen werden als politische, aber nicht notwendig staatliche Aufgabe begriffen.

Im Folgenden werden zwei Infrastrukturen fokussiert: Wasser und Bildung. Die beiden Infrastrukturen wurden ausgewählt, weil sie erstens für die Funktions- und Reproduktionsfähigkeit von Gesellschaften von existentieller Bedeutung sind, zweitens wichtige Bedingungen für die Regionalentwicklung darstellen, drittens die beiden Bereiche exemplarisch für eine technische und eine soziale Infrastruktur stehen und viertens Bildungs- und Wasserinfrastrukturen in besonderem Maß von Prozessen des globalen Wandels (im erweiterten Sinne) betroffen sind.

Für beide Infrastrukturbereiche gilt, dass sie zu gewährleisten eine Staatsaufgabe ist. Weiterhin trifft für sie zu, dass im Gegensatz zu manch anderer Infrastruktur (z. B. Bahn, Kabel-Breitbandversorgung) außer Frage steht, dass ihre Gewährleistung auch zukünftig in staatlicher Verantwortung bleibt. Allerdings heißt dies nicht, dass auch die Erfüllung und Durchführung in staatlicher Hand sein muss, und vielfach ist dies auch schon heute nicht der Fall. Die Wasser- und Bildungsinfrastrukturen unterliegen gegenwärtig ausgeprägten Privatisierungs- und Kommerzialisierungsprozessen (Knobloch 2010; Sambale et al. 2008; Wasserkolloquium 2008). Zum einen gibt es den Trend zu Privatisierungen von Ver- und Entsorgungsbetrieben in der Wasserwirtschaft oder zur Gründung privater Schulen und Hochschulen, zum anderen unterstehen auch öffentliche Träger in beiden Bereichen dem

Diktat betriebswirtschaftlicher Effizienz. So wird die rein technische Logik in der Infrastrukturversorgung immer stärker um eine ökonomische Betrachtungsweise ergänzt. Unbestritten sind jedoch die staatliche Garantie und die Aufsicht sowie das Recht und die Pflicht zur Standardsetzung und -kontrolle.

Weiterhin eint Bildungs- und Wasserinfrastrukturen, dass sie durch den gegenwärtigen globalen Wandel besonders herausgefordert und teilweise sehr vulnerabel geworden sind. An vielen Stellen zeigt sich deutlich, dass die Funktionen dieser beiden Infrastrukturen in den bisherigen Umsetzungen (z. B. Materialisierungen) – zumindest in peripheren ländlichen Räumen – nicht mehr oder nur noch bedingt und zu hohen Preisen erfüllt werden können.

Ebenso verbindet beide Infrastrukturen, dass sie deshalb unter einen speziellen „Anpassungsdruck“ geraten sind, weil bei ihrer Errichtung und ihrem laufenden Betrieb mit „Quantitäten“ (Schüler/innenzahlen, Wasserverbrauch) kalkuliert wurde, die nicht mehr erreicht werden. Das heißt, nicht die Infrastrukturen selbst sind problematisch geworden, sondern die Art, wie sie in ihrer Nutzung realisiert wurden, nämlich auf der Grundlage von „Mengenkalkulationen“, die die Basis für ihre Ausstattung und teilweise sogar für ihre Legitimation bildeten. Werden die Mengen nicht mehr erreicht, geraten sie in Nöte. Unabhängig davon ist zu erörtern, ob sie in der Vergangenheit die erwünschte und erforderliche Qualität erbrachten und an welchen Standards sie sich zukünftig orientieren sollen. Schließlich gilt für beide Infrastrukturbereiche, dass es bereits einige Erfahrungen mit Umbauten, Zusammenlegungen, teilweise auch dem Über- und Durchdenken der Aufgaben gibt. Hinsichtlich der Veränderungen der beiden Infrastrukturen wird mehrheitlich von ihrer bisherigen Verfasstheit ausgegangen und wie diese „technisch“ in einem weiten Sinn verändert werden kann. Kaum jedoch wird erörtert, welche Funktionen die beiden Infrastrukturen zukünftig zu erfüllen haben und ob man sie prinzipiell auch ganz anders einrichten könnte.

Methodische Überlegungen für die Auswahl waren, dass sich Wasser- und Bildungsinfrastrukturen in eben den Merkmalen besonders deutlich voneinander unterscheiden, die für die Charakterisierung von Infrastrukturen als differenzierend gelten. Die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung wurden als leitungsgebundene Infrastruktur errichtet. Der „innerste Kern“ der Wasserinfrastruktur, das, was als essenziell für ihre Funktionsfähigkeit angesehen wird, sind die für sie typischen Bauwerke: Wasserleitungen, Abwasserkanäle, Wasser- und Klärwerke etc. Sie zu errichten ist vor allem eine Ingenieursleistung. Von den Bauwerken, dem erforderlichen Fachwissen und der Errichtungstätigkeit wird hergeleitet, dass die Wasserinfrastruktur zur Kategorie der technischen Infrastruktur gezählt wird.<sup>2</sup> Diese Kategorisierung legt auch die Bahnen dafür aus, wie Probleme, etwa verringerte Funktionstauglichkeit oder neue Anforderungen und Erwartungen an die Infrastruk-

---

<sup>2</sup> Die politischen, rechtlichen, ökonomischen, ökologischen, sozialen und kulturellen Prozesse, die dem technischen Aufbau und der Unterhaltung vorausgingen, die sie begleiteten und ihnen nachfolgten, werden bei dieser Kategorisierung nicht gewürdigt bzw. als nachrangig bewertet. Das gilt ähnlich für die jeweils involvierten und verantwortlichen Experten und deren fachwissenschaftlichen Hintergrund.

turen, zu bewältigen sind. So werden beispielsweise die verringerte Funktionstauglichkeit und die neuen Anforderungen, die sich aus dem globalen Wandel (insbesondere demographischer Wandel, Finanzkrise, Strukturwandel, Klimawandel) ergeben, als technisch zu lösende und lösbare Herausforderungen klassifiziert und entsprechende „Lösungswege“ beschriftet. Auch die Veränderungen der Infrastrukturen – das Anders-denken und -machen – ist im Wesentlichen auf die technischen Materialisierungen konzentriert.

Auf den ersten Blick ganz anders stellen sich die Bildungsinfrastrukturen dar. Sie werden der Gruppe der sozialen Infrastrukturen zugerechnet. Dies begründet sich daraus, dass sie eine bestimmte Form der Kommunikation – bestimmte soziale Interaktionen – ermöglichen sollen. Die Bildungsinfrastrukturen sind bis auf wenige Ausnahmen so eingerichtet, dass die Kommunikationen und Interaktionen, die durch sie und in ihnen systematisch, regelmäßig und geplant erzeugt werden sollen, als Face-to-face-Begegnungen angelegt sind. Daraus ergibt sich, dass sie einer räumlichen Fixierung, einer bestimmten Örtlichkeit bedürfen, die zumeist über einen der Bildungsinfrastruktur zugewiesenen Zweckbau hergestellt wird: ein Schul-, Universitäts- oder Kindergartengebäude. Genau daraus entsteht eine bemerkenswerte Eigendynamik: Indem die soziale Infrastruktur eine Verräumlichung erfährt, werden die Funktionen der Bildungsinfrastruktur auf die technische Ausstattung bezogen, beispielsweise die Anzahl der Klassen. Daraus ergibt sich, dass sie zunehmend von diesen her gedacht und bestimmt werden. Die Forderungen nach mehr Kindergärten und Hochschulen sind dann konsequent. Die Folge ist, dass der soziale Charakter der Funktion der Bildungsinfrastruktur merklich in den Hintergrund tritt. Verstärkt wird dies dadurch, dass das Vorhandensein vor Ort, die Territorialisierung, vorwiegend an der Existenz eines entsprechenden Gebäudes festgemacht wird. Es wird geradezu zum Symbol der Infrastruktur. Die Symbolisierung heftet sich somit ebenfalls an die räumliche Fixierung an und weniger an die eigentlichen Ziele der Infrastruktur: die Ermöglichung einer bestimmten Kommunikation und Interaktion.

Damit soll nicht gesagt werden, dass die Gebäude, die physischen Verräumlichungen, unbedeutend sind, im Gegenteil. Sie sind wichtig, aber nicht um ihrer selbst willen, sondern in ihrem Beitrag zur Erfüllung der Funktion der Bildungsinfrastruktur. Problematisch an der tendenziellen Verlagerung von der sozialen auf die technische Seite ist, dass in der Diskussion über die Zukunft der Bildungsinfrastruktur, insbesondere dort, wo sie vom globalen Wandel besonders betroffen und in ihrer bisherigen Ausgestaltung infrage gestellt ist, die Lösungen und Abhilfen zumeist genau von diesen technischen Materialisierungen her gedacht und unternommen werden. Als Antwort auf den globalen Wandel sind die technisch-materiellen Lösungen jedoch nicht hinreichend, weshalb im Folgenden die Analyse neuer Funktionen, Regel- und Normensysteme, Governanceformen und die Verbindung mit Lernprozessen im Vordergrund stehen.

## **Kernaussagen über Infrastrukturen**

Aus dem Vergleich von Wasser- und Bildungsinfrastruktur erschließt sich, weshalb die nachfolgenden Überlegungen zu Infrastrukturen deutlich sozialwissenschaftlich geprägt sind.<sup>3</sup> Sie fußen vorwiegend auf soziologischen, raumwissenschaftlichen und ökonomischen Betrachtungsweisen, die – soweit dies sinnvoll und hilfreich ist – zu einer interdisziplinären Synthese zusammengebunden wurden. Folglich wird insgesamt kein kohärentes Gesamtgefüge präsentiert, sondern teilweise konkurrierende Sichtweisen stehen nebeneinander. Soweit dadurch das Nachdenken über die zukünftige infrastrukturelle Einrichtung der Gesellschaft bereichert wird, ist die Konkurrenz verschiedener Aspekte und Denkweisen nicht als Mangel an Systematisierung und Synthetisierung zu verstehen, sondern als Spiegelbild ihrer teilweise widersprüchlichen Inanspruchnahme. Die Überlegungen sind in Form von Kernaussagen formuliert, um die Funktionen, Merkmale und die Prozesse der Öffnung von Infrastrukturen so pointiert darzustellen, dass sich davon Ansatzpunkte für ein neues Denken und Handeln von Infrastrukturen herleiten lassen.

## ***Gesellschaftliche Funktionen und Wirkungen von Infrastrukturen***

### **Infrastrukturen sind Vorleistungen**

Infrastrukturen erbringen Vorleistungen, die als erforderlich für eine funktional differenzierte Gesellschaft angesehen werden. Dies meint, dass die Infrastrukturen Leistungen vorhalten und erbringen, von denen anerkannt ist, dass sie von den verschiedenen Teilsystemen – wie Bildung, Wirtschaft, Wissenschaft – nicht selbst zu leisten sind oder geschaffen werden können. Diese Vorleistungen müssen aber vorhanden sein, damit jedes Teilsystem seine jeweils spezifischen Funktionen und Aufgaben wie Kompetenzvermittlung, Güter- und Wissensproduktion erfüllen kann. Häufig verkoppeln die Infrastrukturen verschiedene Teilsysteme miteinander, indem die spezifischen Funktionen und Aufgaben eines Teilsystems von einem oder mehreren anderen als unabdingbare Vorleistungen betrachtet werden – also eine Angewiesenheit besteht. So sind das Wirtschaftssystem und die meisten anderen Systeme auf die Funktionserfüllung des Bildungssystems angewiesen, für sie besitzt dieses den Charakter einer Infrastruktur. Bei den infrastrukturell garantierten Vorleistungen ist gesellschaftlich und politisch anerkannt, dass deren Gewähr-

---

<sup>3</sup> Wichtige Vorarbeiten, an denen wir anschließen, sind die ältere ökonomische Literatur, die die klassische Infrastrukturtheorie prägte, sowie raumordnerische und -wirtschaftliche Konkretisierungen dieser Theorie für die dominante, angebotsorientierte Regionalpolitik (Frey 1979; Jochimsen 1966). Immer noch in soziologischer Sicht ergiebig: „Sachdominanz in Sozialstrukturen“ (Linde 1972), maßgebend auch die Studien von Manuel Castells, in denen die physisch-materielle Betrachtung durch einen Blick auf den „space of flows“ abgelöst wurde (Castells 2001). Neuere, kritische Studien der sozialwissenschaftlichen Raumforschung betrachten die Wechselwirkung zwischen Raum- und Infrastrukturentwicklung vor dem Hintergrund aktueller Prozesse von Ausdifferenzierung, Dezentralisierung und Internationalisierung (Graham & Marvin 2001; Moss et al. 2008).

leistung nicht nur den jeweils profitierenden und erstellenden Teilsystemen selbst zuzurechnen ist. Bei ihnen ist vielmehr bestätigt, dass die Verantwortung für ihre Gewährleistung im Allgemeininteresse (Gemeinwohlorientierung) liegt und sie zu garantieren deshalb eine Gemeinschaftsaufgabe darstellt, weil es sich um Basiseinrichtungen handelt.

Was als Vorleistung angesehen wird, ist Ergebnis eines gesellschaftlichen und politischen Aushandlungsprozesses, bei dem die Teilsysteme je nach Machtausstattung durchsetzen können, welche Leistungen als Vorbedingungen für ihre teilsystemspezifischen Leistungen zu gelten haben. Dabei handelt es sich nicht um einmalige Leistungen wie beispielsweise die Exzellenzinitiative, sondern um auf Dauer angelegte Vorleistungen, mit denen die Teilsysteme verlässlich kalkulieren können, sie also Sicherheit darüber haben, dass sie diese nicht selbst erbringen müssen. Niemand käme auf die Idee, eine Fabrik als infrastrukturelle Vorleistung für den Autobau zu betrachten; hingegen kann das Straßennetz als Vorleistung für ökonomische Tätigkeit insgesamt – im Sinne eines öffentlichen Gutes – als Infrastruktur verstanden werden. Oftmals weisen die Leistungen von Infrastrukturen einen Doppelcharakter auf, der ihre gesonderte Organisation erfordert. So kann Trinkwasser als privates Gut angesehen werden, indem es von Einzelnen konsumiert wird, gleichzeitig beugt die Wasserqualität der Ausbreitung von Seuchen vor. Ähnliches gilt für den Bildungssektor, der zum einen zur späteren Einkommenserzielung beiträgt und zum anderen den Wissenstransfer in die Gesellschaft und die Generalisierung kultureller und sozialer Prämissen fördert (pers. Mitteilung H.-E. Tenorth, 2010).

Mit der Anerkennung eines Allgemeininteresses ist zumeist die Regelung des Zugangs zu den Infrastrukturen verknüpft. Diese ist im Allgemeinen so gestaltet, dass die Infrastruktur prinzipiell für jedermann zugänglich ist, der Zugang an formale Voraussetzungen gebunden wird oder aber eine Zugangspflicht bzw. ein Teilhabezwang besteht. Entscheidend ist, dass es sich um formale Regelungen handelt, die von den persönlichen Voraussetzungen der Nutzer absehen. Somit erwachsen aus der Anerkennung, dass die Gewährleistung der Vorleistung im Allgemeininteresse (im Gemeinwohl) liegt, Regelungserfordernisse. Die Regelungen umfassen neben der Frage des Zugangs auch die Art und Weise, wie und in welcher Qualität die Infrastruktur vorzuhalten ist. Letzteres impliziert eine Standardisierung und Normierung der Infrastruktur, zumal wenn diese für mehrere Teilsysteme und ganz unterschiedliche Akteure zugänglich und nutzbar sein soll.

Aus der Anerkennung als infrastrukturelle Vorleistung folgt, dass diese Leistung gesellschaftlich garantiert wird, aber nicht, dass diese von einem gemeinwohlorientierten Teilsystem oder Akteur erbracht wird. Welche Leistungen als Infrastrukturen bestimmt und anerkannt werden und welche nicht, ändert sich. Die Veränderungen können aus teilsystemischen Wandlungsprozessen resultieren, wenn etwa manche Vorleistungen überflüssig oder neue erforderlich werden. Ein anschauliches Beispiel sind Bibliotheken, die jahrhundertlang persönlich aufgesucht werden mussten und die heutzutage virtuell zugänglich sind. Auch können sich Veränderungen aus einem Wandel der Anerkennung der Gemeinwohlfähigkeit, des Anspruchs auf Allgemeininteresse, ergeben: Diese kann aberkannt oder auch auf weitere oder neue Leistungen ausgedehnt werden.

Diese Perspektive kann ebenso dazu herangezogen werden, zu verstehen, warum zusätzliche infrastrukturelle Leistungen auf vorhandene Infrastrukturen „aufgeschichtet“ werden. Derartige Aufschichtungen ermöglichen es, Vorleistungen für *verschiedene* Teilsysteme aus einem Infrastrukturkomplex zu erbringen und damit die Basis für die Anerkennung eines Allgemeininteresses zu verbreitern.

Die These dieses Beitrags lautet, dass auch in Zeiten globalen Wandels Infrastrukturen derartige Vorleistungen zu erbringen haben, dass jedoch die Routinen sowie die oft stillschweigenden Voraussetzungen dafür neu bestimmt werden müssen.

### **Infrastrukturen als Integrationsmotor**

In allen westlichen Nationen haben die Industrialisierung und Urbanisierung zu einer Durchdringung der gesamten Arbeits- und Lebenswelt mit neuen Infrastrukturen wie Verkehrsnetzen, Wasserversorgung und Abwasserentsorgungsleitungen oder Telekommunikation geführt. Infrastrukturen dienen jedoch nie allein als Vorleistung für eine industrielle Produktion und wirtschaftliches Wachstum, sondern wurden stets auch als Motoren einer territorialen Erschließung und sozialen Integration verstanden. Mit Georg Simmel kann man folgern, dass „Menschen nicht einander nahe oder fern sein können, ohne dass der Raum seine Form dazu hergibt“, und die „Wechselwirkung unter Menschen“, wovon soziale Integration eine spezifische Ausprägung repräsentiert, als „Raumerfüllung empfunden“ wird (Simmel 1992: 678). Entsprechend wird der „leere Raum“ nicht räumlich-physikalisch bestimmt, sondern als Entflechtung und Verlust sozialer Beziehungen, Einbindungen und Teilhabechancen wahrgenommen.<sup>4</sup>

Der Ausbau der Eisenbahn und Telekommunikation ebenso wie der Wasser- und Abwassersysteme ermöglichte es, ganze Räume zu durchdringen, in Besitz zu nehmen und miteinander zu verbinden. In der Stadtsoziologie hat es Tradition, die Stadt als Integrationsmaschine zu thematisieren, weil dort – trotz großer kultureller Differenzen – durch eine komplexe Infrastruktur der gesellschaftliche Zusammenhalt begünstigt wird. Mehr noch: Klassenschranken und soziale Unterschiede sollten eingeebnet werden. Die Einführung der Schulpflicht nach dem Sprengelprinzip (Kinder aus einem Stadtbezirk besuchen eine Schule) führte beispielsweise in Berlin-Mitte dazu, dass Kinder aus dem Vorderhaus oder der Beletage mit Kindern aus den Hinterhöfen gemeinsam in eine Klasse gingen (pers. Mitteilung Tenorth, 2010).

Bei den sozial integrativen Wirkungen von Infrastrukturen sind die formalen sozialen Anrechte, die gesellschaftliche Teilhabe garantieren sollen, zu unterscheiden<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Ob sich dies in der netzgestützten virtuellen Welt grundsätzlich ändert, ist eine offene Frage.

<sup>5</sup> Infrastrukturen kann man als formale soziale Anrechte (im Sinne von Bürgerrechten) verstehen oder, an Forsthoff orientiert, als Grundausrüstung (Daseinsvorsorge) auffassen. Dass es sich um Ansprüche besonderer Art handelt, zeigt sich daran, dass die Rechtslage untersagt, bei Zahlungsverzug die Leistungsbereitstellung sogleich zu unterbrechen. Zu unterscheiden sind der Anspruch auf Grundausrüstung (Esping-Andersen) und das einklagbare subjektive Recht (als Recht auf Bildung). Ein Anrecht auf Infrastruktur gibt es dagegen nicht.

von jenen sozial integrativen Wirkungen von Infrastrukturen, die daraus entstehen, dass diese ähnliche Lebensverhältnisse herstellen und so eine Angleichung der Lebensweisen fördern. Sie tragen auch dazu bei, dass ähnliche Vorstellungen über eine gelungene Teilhabe am gesellschaftlichen Leben entwickelt werden, also Ansichten und Ansprüche an Mindestausstattungen entstehen.

Die soziale Integration, die durch die räumliche Ausstattung mit Infrastrukturen erfolgt, bezieht sich auf verschiedene räumliche Ebenen mit jeweils unterschiedlichen Ansprüchen und Erwartungen. So gibt es Infrastrukturen, die nationalen oder supranationalen Charakter haben, solche, die von den Bundesländern vorgehalten werden, andere, die vor Ort – also prinzipiell überall – garantiert sein sollen. Diese verschiedenen räumlichen Ebenen korrespondieren mit unterschiedlichen Ausprägungen sozialer Integration.

Die These dieses Beitrags lautet, dass sich die infrastrukturellen Ausstattungen unter den neuartigen Herausforderungen des globalen Wandels auf den verschiedenen Ebenen im Hinblick auf ihre Integrationsfunktion wandeln. Diese Veränderungen wurden bisher kaum untersucht. Es fehlt an Kriterien, ob und in welchem Umfang Infrastrukturen unter den geänderten Bedingungen soziale Integration gewährleisten können. Ändert sich der Grad an sozialer Integration, wenn Gehöfte und entlegene Dörfer nicht mehr an öffentliche Leistungssysteme angeschlossen sind? Wie kann vor allem die Mobilität der dortigen Bewohner gewährleistet werden? Kann man beim Rückbau von Infrastrukturen kritische Umschlagspunkte bestimmen, ab denen die soziale Integration gefährdet wird – sich der Eindruck des „Abgehängtseins“ verfestigt? Wenn Infrastrukturen immer weniger „aus einer Hand“ angeboten werden, die Dynamiken und Geschwindigkeiten der verschiedenen Infrastrukturbereiche sich durch neue Technologien auseinander entwickeln, dann wird sich dies auf deren sozial-integratives Potenzial auswirken. Dasselbe gilt bei einer Monopolisierung von seither ausdifferenzierten Angeboten in der Hand von Großkonzernen.

### **Infrastrukturen entfalten sozialisierende Wirkung**

Dienten die Transport- und Leitungsnetze vorrangig der erstarkenden Wirtschaft, so ermöglichten die allgemeine Schulpflicht und der Ausbau der medizinischen Versorgung zugleich immer mehr Menschen den Zugang zu Bildung und Gesundheitsversorgung. Beinahe unbemerkt strukturieren Infrastrukturen den Alltag: Sie geben die Wegstrecken vor, normieren die Verhaltens- und Handlungsweisen und transportieren kulturelle Werte und Orientierungen. Dies sind latente Funktionen von Infrastrukturen. Mit den Standards der infrastrukturellen Versorgung korrespondieren kulturelle/habituelle Standards wie komplementäre Verhaltensweisen oder Pflichten der Nutzerinnen und Nutzer. Dies kann als Standardisierung von Handlungs- und Verhaltensweisen – als Disziplinierung – begriffen werden.

Dass Infrastrukturen in sich selbst machtvoll sind und eine prägende Kraft auf die Nutzerinnen und Nutzer ausüben, dürfte schon mit dem Blick auf die Verkehrsregeln unmittelbar einleuchten. Die strikten Standardisierungen, die für eine neue Infrastruktur gelten, werden teilweise zurückgenommen und informalisiert, sobald

der Umgang mit der Infrastruktur zur Gewohnheit wurde und das Erlernen eines „korrekten Gebrauchs“ zum üblichen Sozialisations- bzw. Bildungsprozess gehört. So ist historisch zu beobachten, dass neue Infrastrukturen mit strikten Regeln für ihren Gebrauch eingeführt und nach und nach durch offenere Formen ersetzt werden – also die Standardisierungen von Entstandardisierungen abgelöst werden (z. B. beim Gebrauch von Mobiltelefonen in öffentlichen Räumen). Mit der Einführung von Infrastrukturen ist somit immer auch die Einführung von Nutzungsregeln verbunden (Institutionalisierung). Die Nutzerinnen und Nutzer entwickeln jedoch im Laufe der Zeit eigene Umgangspraktiken, wodurch die strikte Reglementierung zum Teil wieder zurückgenommen wird.

Derartige Mechanismen der Standardisierung und Disziplinierung, so die These, repräsentieren in einer Zeit wachsender Ungewissheit und persönlicher Unsicherheit ein wirksames Gegengewicht. Infrastrukturen vermögen in ihrem Bereich wichtige Stabilisierungen zu schaffen: Es gibt jederzeit frisches Wasser; Kinder haben ein Anrecht auf den Besuch einer geeigneten Bildungseinrichtung. Wird diese Stabilisierung aufs Spiel gesetzt, resultieren daraus massive Verunsicherungen und heftige Proteste.

### **Infrastrukturen kodieren Räume**

Mit dem Spacing-Konzept können die raumbildenden Wirkungen von Infrastrukturen umfassender beschrieben werden als mit der klassischen Infrastrukturtheorie. Die klassische Infrastrukturtheorie fußt auf einem technokratischen Verständnis von Raumbildung; das Spacing-Konzept versteht dagegen Raumbildung als Ausdruck von Machtprozessen (vgl. Keim 2009). Infrastrukturen sind demnach eine Möglichkeit, Räume zu kodieren, indem diese auf eine bestimmte Art und Weise ausgestattet und damit gekennzeichnet werden. Die räumliche Kodierung impliziert zumeist auch eine Hierarchisierung von Räumen. Die Ausstattung mit unterschiedlich repräsentativ ausgestatteten Gebäuden und der Anschluss bzw. Nichtanschluss mancher Region an die schnellen Trassen des Austausches und der Kommunikation sind Beispiele dafür. Die räumliche Ausstattung mit Infrastrukturen impliziert eine Machterweiterung, insofern als vorher nicht kodierte Räume mittels Infrastrukturen erschlossen und an Herrschaftsräume angeschlossen werden. Durch Infrastrukturen werden insbesondere raumüberwindende Austauschprozesse erleichtert und beschleunigt. Andere Infrastrukturen markieren das Territorium mittels räumlicher Fixierung bzw. Lokalisierung, indem sie feste Zentren für soziale und kulturelle Austauschprozesse schaffen, wie Schulen und Krankenhäuser.

Infrastrukturen dokumentieren politische Eingriffe und Gestaltungswillen, sprich Herrschaftsausübung. So war der Aufbau der Wasserinfrastruktur selten vorrangig technisch begründet, sondern ein Mittel, Siedlungsgebiete zu erschließen und darüber sozial-räumliche Herrschaftsansprüche durchzusetzen (vgl. Swyngedouw 2010). Ähnlich gilt dies für den Aufbau von Dorfschulen, das heißt die bildungsmäßige Erschließung des gesamten Territoriums, womit staatlicherseits die allgemeine Schulpflicht durchgesetzt wurde. Der Aufbau der Infrastrukturen im 19. Jahrhundert, vor

allem im Kontext der Etablierung des Nationalstaates, stellt eine staatliche Durchdringung des sozialen Raums (im Sinne einer sozialstrukturellen Integration) wie auch eine Bemächtigung des Territoriums durch flächenmäßige Erschließung dar. Diese infrastrukturellen Inbesitznahmen repräsentieren besonders markante räumliche Kodierungen, und dies auf unterschiedlichen Maßstabsebenen („politics of scale“).

Aber auch die bewusste Nichterschließung, Vernachlässigung von Räumen bzw. der flächenmäßige Rückbau von Infrastrukturen implizieren eine räumliche Kodierung. Denn wenn Infrastrukturen ein Mittel der Raumerschließung sind, dann steht der Rückzug von Infrastrukturen aus der Fläche für eine Distanzierung – und teilweise Abkopplung – dieser Räume von den zentralen Herrschaftsansprüchen. Die Ausdünnung oder die Aufgabe von Interaktions- und Austauschketten (Verflechtungszusammenhängen) geht häufig mit der Verminderung oder der Abschaffung infrastruktureller Ausstattungen einher.

Ausweitungen wie auch Ausdünnungen von Interaktions- und Handlungsketten, von Netzen verdichteter Kommunikation und ihre infrastrukturelle Ermöglichung und Eskortierung sind jeweils für jene Verflechtungszusammenhänge zu analysieren, welche durch die Austauschprozesse hergestellt werden. So bedeutet die Globalisierung eine flächenmäßige Erweiterung der Austauschprozesse, durch welche zuvor voneinander getrennt fungierende Infrastrukturen miteinander verkettet werden. Diese zeigt sich darin, dass die Überstrapazierung der Infrastrukturen des einen Orts mit einer Unterauslastung der Infrastrukturen des anderen Orts korrespondiert. Das in vielen Agrar- und Industrieprodukten „versteckte Wasser“, welches an den Produktionsorten eine infrastrukturelle Überlastung bedingt, führt in den reifen Industriegesellschaften und Wissensgesellschaften, die solche Produkte immer weniger selbst herstellen, zur infrastrukturellen Unterauslastung und gefährdet das Funktionieren der Infrastruktur. Zudem wird dadurch das finanzielle Fundament der Infrastrukturen ausgehöhlt. In diesem Zusammenhang bleibt zu fragen, ob die üblichen Preissignale des Weltmarkts automatisch für eine entsprechende Korrektur sorgen oder ob mit umweltpolitischen Instrumenten gegengesteuert werden muss. Wegen des globalen Charakters der Interdependenzen bedarf es hier auch einer internationalen Koordinierung wirtschaftspolitischer Maßnahmen.

Gleichzeitig sind scheinbar gegenläufige Tendenzen der räumlichen Ausdifferenzierung von Infrastrukturen zu beobachten. Neue dezentrale Techniken wie Solaranlagen oder Pflanzenkläranlagen ermöglichen orts- und akteursspezifische Lösungen im Kleinen. Teilweise erfordern sie sogar die Rekonfiguration der räumlichen Versorgungsstrukturen, etwa beim Aufbau regionaler Wertschöpfungsketten um die Verwendung von Bioenergie herum. Auch wirtschaftliche Faktoren wie der verstärkte Wettbewerb in einigen Versorgungsbranchen generieren räumlich differenzierte Angebote.

Die These dieses Beitrages ist, dass durch die Folgen des globalen Wandels auch die machtgestützte Kodierung von Räumen (Spacing) deutlich verändert wird. Es scheint sich anzubahnen, dass bevorzugte Teilräume, insbesondere Metropolräume, durch ihre starke Verflechtung untereinander als infrastrukturell hoch leistungsfähig kodiert werden. Dies geht oft mit einer Präferenzierung bestimmter Nutzergruppen einher. Dagegen drohen andere Teilräume ihre bislang ausreichende Infrastrukturkodierung einzubüßen und geraten so ins Hintertreffen der Entwicklung. Dabei ist

wichtig, herauszuarbeiten, inwieweit diesen Veränderungen ein expliziter politischer Wille entspricht.

### **Infrastrukturen besitzen eine symbolische Dimension**

Infrastrukturen besitzen neben der materiellen und integrativen immer auch eine symbolische Dimension. Letztere versinnbildlicht beispielsweise die Teilhabe an der Industrie- bzw. Wissensgesellschaft. Dies zeigt sich insbesondere bei der räumlichen Kodierung, die inkludierend wie auch exkludierend wirkt, indem durch sie bestimmte Räume – soziale wie territoriale – erschlossen werden bzw. verschlossen bleiben. Die räumliche Kodierung durch infrastrukturelle Ausstattung offeriert den Nutzern ein Angebot zur räumlichen Identifikation. Dies ist wichtig, weil davon die Akzeptanz der Infrastrukturen abhängt. Symbolik ist zudem ein entscheidendes Instrument der Politik. Der Einfluss der kulturellen Kodierung lässt sich am Beispiel der Wasserinfrastrukturen veranschaulichen. In der Entstehungsphase galt diese Infrastruktur als technische Errungenschaft und Wunder. Ab den 1930er- und 1940er-Jahren, als diese Technik zur Selbstverständlichkeit geworden war, wurde sie unter die Erde verlagert und damit unsichtbar gemacht. Daraus entstanden neue Konflikte um die Wasserinfrastruktur. Ihre heutige Widersichtbarmachung wie auch die anderer Infrastrukturen ist zum Teil eine bewusste Planungsstrategie, um sie politisch verhandelbar zu machen, zum Teil eine Folge der Spannungen zwischen neuen Anforderungen und begrenzten Ressourcen.

Für die Bildung gilt dies gleichermaßen: Die Schule in jedem Dorf mit dem Dorflehrer, der in der Sozialstruktur des Dorfes einen festen Platz einnahm, repräsentierte ebenfalls einen staatlichen Anspruch auf räumliche Kodierung. Wenn Schulen geschlossen werden, wird dies vielfach als Symbol des staatlichen Rückzugs und einer gefährdeten Teilhabe an den gesellschaftlichen, ökonomischen und kulturellen Entwicklungschancen aufgefasst. Dieser Aspekt wurde in den 1970er-Jahren mit der Schaffung von Schulzentren, zu denen die Schüler transportiert wurden, vernachlässigt (ebenso wie die Symbolik der Sprache). Gegenwärtig könnte beispielsweise die Funktion der Schule stärker als bislang darin gesehen werden, als räumliche Fixierung der Zivilgesellschaft zu fungieren und als lebensweltliche Kommunikationsstätte genutzt zu werden.

### ***Die besonderen Merkmale von Infrastrukturen***

#### **Infrastrukturen sind und schaffen zugleich Gemeinschaftsgüter**

Um durch infrastrukturelle Gemeinschaftsgüter geschaffene Leistungen zu ermöglichen, sind (wegen Marktversagen, aber auch Staatsversagen) besondere angepasste institutionelle Regelungen erforderlich. Diese Regelungen umfassen insbesondere die Zugangs- und Nutzungsrechte und -pflichten, die Art und Weise der Leistungserbringung und eine dauerhafte Garantie.

Infrastrukturen sind Gemeinschafts- bzw. Kollektivgüter in dem Sinn, dass ihre Erbringung, Vorhaltung oder zumindest Regulierung als öffentliche Aufgabe aufgefasst und ihre Nutzung nicht nach privaten Regeln erfolgt oder willkürlich verwehrt werden darf.

Die Eigentums- und Besitzverhältnisse an Infrastrukturen ebenso wie die Finanzierungsmodi können sehr unterschiedlich gestaltet sein. Es gibt eine Vielzahl von Finanzierungsmodi, die abhängig sind von der eigentumsrechtlichen Struktur, den Präferenzen der Stakeholder und den impliziten Informationsasymmetrien. Reine Kapitalmarktfinanzierung und die öffentliche Finanzierung durch Steuern oder Gebühren stellen die extremen Pole dar. So gibt es private Finanzierungen, private Vorfinanzierungen und spätere öffentliche Ablösungen genauso wie öffentliche Finanzierungen und spätere Privatisierungen bzw. Kommunalisierungen. Weiterhin lassen sich Verstaatlichungen beobachten und viele Hybridformen zwischen privat, staatlich, kommunal, genossenschaftlich, Public-Private-Partnership etc. In einigen Fällen überlässt man dem Kollektiv die Vorfinanzierung, aber es gibt auch Infrastrukturen mit Gemeinschaftscharakter, bei denen das nicht notwendig ist, wie bei Wasserleitungen, deren Nutzung von allen Nutzerinnen und Nutzern bezahlt werden muss. Interessant wäre es, die Unternehmen, also die Leistungsanbieter, selbst zu befragen, ob sie die von ihnen erbrachte Leistung als Infrastruktur betrachten. Die Leitungsgebundenheit etc. stellt keine Bedingung für Infrastruktur dar, sofern man von den Funktionen der Infrastrukturen ausgeht. Allerdings sind besondere institutionelle Regelungen erforderlich, um die oben genannten Gütereigenschaften in den Griff zu bekommen.

Am Beispiel der Wasserinfrastruktur lässt sich gut aufzeigen, wie die institutionellen Regelungen Güter mit unterschiedlichem Gemeinschaftsgutcharakter zu berücksichtigen haben (Gailing et al. 2009). Einerseits ist der Zugang zu Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsanlagen durch den technischen Anschluss und die Zahlung einer Nutzungsgebühr begrenzt. Leitungsgebundene Infrastruktursysteme werden deshalb oft als Club- oder Netzwerküter klassifiziert. Eine Nutzungsrivalität besteht – allein auf die Infrastrukturnetze bezogen – bis zu einer gewissen Kapazitätsgrenze nicht. Wird diese allerdings überschritten, können die negativen Folgen für die Nutzer erheblich sein. Andererseits ist das durch die Versorgungssysteme fließende Wasser ein Umweltgut oder eine „common pool resource“ mit erheblichen Nutzungsrivalitäten. In dieser Gegenüberstellung steckt ein grundsätzliches Dilemma, das alle Wasserwirtschaftler beschäftigt: Es ist im Sinne der Nachhaltigkeit, den Verbrauch von Umweltgütern so weit wie möglich zu minimieren, aber es liegt im Interesse der Betreiber eines Infrastruktursystems, die Auslastung dieses Netzwerkuts so weit wie möglich (unterhalb einer Sicherheitsreserve) zu maximieren. In schrumpfenden Regionen wird dieses Dilemma infolge des starken Rückgangs der Wassernutzung bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Infrastrukturfunktionen besonders kritisch.

Bei der Bildungsinfrastruktur kann man ebenfalls Dilemmata beobachten. So hat die Bildungsexpansion, in deren Folge ehemals sozial benachteiligte Gruppen wie Mädchen oder Kinder aus ländlichen Regionen höhere Bildungsabschlüsse erwerben, zwar bestimmte Ausprägungen von Bildungsungerechtigkeit gemindert. Aber gleichzeitig wurde eine Entwertung von Bildungsabschlüssen in Gang gesetzt, so

dass die vormals sozialstrukturell unerreichbaren Bildungszertifikate zwar nun für breitere Schichten erreichbar geworden sind, diese allerdings auf dem Arbeitsmarkt und wie bezüglich ihres Bildungsprestiges weniger wert sind.

### **Infrastrukturen sind das Ergebnis komplexer Aushandlungsprozesse**

Infrastrukturen sind das (materialisierte) Ergebnis komplexer Aushandlungs- und Planungsprozesse und nur selten Resultat gradliniger technologischer Planung. In ihnen materialisieren sich politische und gesellschaftliche Erwartungen an die Zukunft (etwa über Leitungslänge und Rohrdurchmesser oder die Größe von Schulzentren), weshalb Infrastrukturen einerseits Entwicklungskorridore eröffnen und absichern und andererseits genau dadurch die zukünftigen Gestaltungsspielräume begrenzen und vorprägen. Die Entscheidung für eine bestimmte Infrastruktur zu einem bestimmten Zeitpunkt definiert den Korridor für zukünftige Entscheidungen. Dies gilt für die verschiedenen Infrastrukturen in unterschiedlichem Maße: mehr für jene, die eine langfristige Planung erfordern und daher häufig eine starke Zukunftsbindung besitzen, und weniger für solche, die ohne große Investitionen (materiell, finanziell, sozial, kulturell) auskommen. An den Aushandlungs- und Planungsprozessen sind Planer/-innen, Verwaltungsbeamte/-beamtinnen, Techniker/-innen etc. beteiligt, die entsprechend ihrer Professionalität die Infrastrukturen oft als rein technologisch und administrativ hergeleitete Systeme stilisieren. De facto findet die Planung jedoch unter bestimmten politischen Rahmenbedingungen statt. Die Planungsergebnisse werden oft als Resultat von Sachzwängen präsentiert. Von der Planungsphase ist die Partizipationsphase bei der Errichtung von Infrastrukturen zu unterscheiden. Zwischen diesen beiden Phasen gibt es ein Spannungsverhältnis allein schon deshalb, weil die Planung nicht selten einen Vorlauf von Jahrzehnten hat, bevor die Partizipations- und anschließend die Realisierungsphase beginnen.

In Infrastrukturen materialisieren sich nicht nur Erwartungen an die Zukunft; sie entfalten selbst Zukunftswirkung, weil ihre Technologie wie auch ihre institutionellen Nutzungsregelungen berechenbare Erwartungen erzeugen. Manche Technologie und Nutzungsregel weist eine gewisse temporäre Irreversibilität auf, weshalb Infrastrukturen Gestaltungs- und Umgestaltungsmöglichkeiten für längere Zeiträume kanalisieren, vor allem wenn ihr Umbau technisch, finanziell und rechtlich sehr aufwändig ist und zudem neue Nutzungsregeln, Handlungs- und Verhaltensweisen verlangt.

Für die gelingende Aushandlung von Infrastrukturen kann man von den Studien von Elinor Ostrom lernen, dass die seither als „tragedy of the commons“ bezeichneten Egoismen der individuellen Nutzer durch ihre aktive Mitwirkung der Nutzer an zukünftigen, neu gestalteten Einrichtungen oder Regelungen überwunden werden können (vgl. Ostrom 1999, 2005). Dies wurde insbesondere im überschaubaren lokalen Zusammenhang in Bezug auf Fragen der Wassernutzung untersucht und modellhaft erprobt. Es gibt somit handlungsrelevante Konzepte auf dezentraler Ebene, an denen man sich orientieren kann, um Infrastrukturen weiterzuentwickeln.

### **Aufschichtungen von Infrastrukturen**

Infrastrukturpolitik besitzt die Neigung, bei Weiterentwicklung neue Funktionen auf bereits vorhandene Infrastrukturen aufzuschichten. Diese Aufschichtungen, das heißt die Anlagerung von neuen Funktionen an bereits vorhandene Infrastrukturen, steigern deren Komplexität. Scheinbar kleine Veränderungen führen so häufig zu nicht vorausgesehenen und nicht intendierten Folgen und Nebenfolgen. Mit der Aufschichtung ist oft auch eine Erweiterung des Nutzerkreises verbunden, woraus divergierende Ansprüche an Infrastrukturen erwachsen können. Hinzu kommt, dass die Funktionen von Infrastrukturen nicht immer zu erkennen sind oder (noch) erkannt werden. Meist werden sie als Selbstverständlichkeit hingenommen und nicht hinterfragt. Gleichwohl können wir nicht davon ausgehen, dass derartige Funktionen universell akzeptiert werden. Vielmehr werden die unterschiedlichen Funktionen von Infrastrukturen im politischen Diskurs oft gegeneinander ausgespielt.

Die Aufschichtung von Infrastrukturen ist eng mit Innovationszyklen verbunden: Gesellschaften, die auf Wachstum setzen, neigen dazu, auch die Infrastrukturen entsprechend auszubauen. Ein Beispiel dafür sind die Talsperren im Bergischen Land, die zunächst zur gewerblichen Wasserversorgung und zur Stromerzeugung gebaut wurden. Die errichtenden Industrieunternehmen reklamierten bald nach ihrem Bau, dass Talsperren auch öffentliche Aufgaben erfüllen, wie die nachgelagerten Siedlungen vor Hochwasser zu schützen. Zudem deckten sie alsbald auch den rasant gestiegenen Bedarf an Brauch- und Trinkwasser sowie hydroelektrischer Energie der privaten Haushalte.

Wenn anerkannt wird, dass Talsperren auch öffentliche Aufgaben leisten, dann stellt sich die komplexe Frage nach ihrer Finanzierung. In dem angeführten Beispiel entstand 1899 der Ruhrtalsperrenverein – ein Zweckverband der Wasserver- und Abwasserentsorgung, der zu einer Keimzelle einer modernen Raumordnung wurde. Dies zeigt, dass der Auf- und Ausbau und die Unterhaltung moderner Infrastrukturnetze oft die Möglichkeiten der Kommunen überstiegen und Zweckverbände wie ähnliche Organisationen sich zunehmend zu Agenten der räumlichen Integration entwickelten (van Laak 2006: 195 f.). Aber auch Skalen- und Verbundvorteile können Anlass für die Kooperation von Kommunen sein. Die genaue Ausgestaltung juristischer Konstruktionen und Finanzierungsformen hängt dabei stark von den verfügbaren Informationen der Kooperationspartner und den inhärenten Anreizstrukturen ab (Martimort et al. 2005).

Dass und wie Infrastrukturen neben ihrem ursprünglichen Hauptzweck (hier die öffentliche Wasserversorgung) zumeist mehrere Serviceleistungen erbringen – solche, die als öffentliche Aufgabe aufgefasst werden, aber auch solche, die dem privaten Sektor zugute kommen –, lässt sich an dem Beispiel der Talsperren demonstrieren. Denn schon wenige Jahre nach ihrer Errichtung wurden die Stauseen zu Orten touristischer Vergnügungen. Uferraum und Wasseroberfläche boten Gelegenheit zu vielfältigen Freizeitaktivitäten. Ausflugslokale und Campingplätze entstanden, die eine zusätzliche infrastrukturelle Erschließung erforderten. Die Ausflügler und Touristen brachten neue Verhaltensmuster und Lebensweisen in die Abgeschiedenheit des Bergischen Landes und begründeten dort einen kulturellen und sozialen Wan-

del. Nach und nach wurden die Talsperren Gegenstand regionaler Identität und regionalen Stolzes. Daraus entstand eine mentale und identitätsstiftende Aufschichtung, die heute mit der ehemals einen fremden Machtanspruch repräsentierenden Infrastruktur assoziiert ist. Aus dem „Fremden“ erwuchs ein Gefühl neuer Heimatlichkeit. Eine weitere Aufschichtung fand in den vergangenen Jahrzehnten statt, als die Talsperren zunehmend als Orte des Naturschutzes und der Biodiversität entdeckt wurden. An vielen Stauseen lässt sich eine starke Zunahme der Artenvielfalt beobachten, die durch die Anreicherung mit Nährstoffen und das Ablagern von Sand ausgelöst wurde (Reichholf 2007: 202 ff.). Diese unerwartete und nicht intendierte Zunahme an biologischer Funktionalität kann auf unterschiedliche Weise gesellschaftlich genutzt werden. Manche Infrastrukturen haben im Zuge des Rückgangs der Wassernutzung ihre ursprüngliche Funktion für die Trinkwasserversorgung gänzlich verloren.

Da Infrastrukturen ferne Räume – Regionen – miteinander verbinden, können sie zu Quellen neuer Gefahren und Risiken werden. Werden sie beschädigt, missbraucht oder in ihrer Funktionsfähigkeit eingeschränkt, können damit flächendeckende Schäden verursacht und eine Kette von Folgeschäden ausgelöst werden. So sind Talsperren „zwar Bauwerke eines Kampfes gegen die Natur und ihre Gesetze, der sich in der Neuzeit nicht selten als Krieg darstellte, zugleich aber solche des Friedens unter den Menschen. Ihr Bau ist ein Synonym für das Zutrauen in eine friedliche Zukunft. Deshalb sind sie in Kriegszeiten wiederum strategische Achillesfersen und in Krisenzeiten anfällig für terroristische Anschläge“ (van Laak 2006: 198). Genau deshalb wurden die Talsperren im Zweiten Weltkrieg zu einem wichtigen militärischen Ziel und gelten heutzutage wie andere Infrastrukturnetze auch als Orte, die durch Terrorattentate, Naturkatastrophen und technische Ausfälle besonders gefährdet sind.

### ***Prozess der Öffnung und Infragestellung des bisherigen Infrastrukturverständnisses***

#### **Überlagerungen der Funktionen durch verschiedene globale Trends**

Die Funktionen der vorhandenen Infrastrukturen werden gegenwärtig von verschiedenen globalen Trends überlagert, die einige Grundannahmen der klassischen Infrastrukturtheorie und Regionalpolitik infrage stellen und ein „window of opportunity“ (Kingdon) für alternative Lösungsansätze öffnen. Unter globalem Wandel werden hier nicht allein globale Umweltveränderungen, sondern alle von Menschen verursachten Veränderungen der Lebensgrundlagen für Mensch und Natur von globaler Tragweite verstanden (vgl. NKGCF 2008). Dazu gehören neben dem Klimawandel auch die Globalisierung von Wirtschafts- und Politikverflechtungen, ihre Auswirkungen auf Mensch-Umwelt-Verhältnisse und der sozio-ökonomische Strukturwandel.

Diese globalen Trends tangieren die Wasserver- und Abwasserentsorgung einer Region wie Berlin-Brandenburg in vielfacher Hinsicht (Moss & Hüesker 2010). Erstens verändert der vorhandene und prognostizierte Klimawandel bisherige Nie-

derschlagsmuster und Durchschnittstemperaturen. Dies hat erhebliche Folgewirkungen für die regionale Wasserinfrastruktur, weil Trockenperioden häufiger und intensiver werden und mit vermehrten Extremwetterereignissen zu rechnen ist. Zweitens haben der demographische Wandel und die Deindustrialisierung einiger ostdeutscher Regionen die Nachfrage nach Wasser sinken lassen, was wiederum negative Folgen für den Betrieb dadurch unterausgelasteter Infrastrukturanlagen und -netze hat. Drittens wurde durch die zunehmende Kommerzialisierung und Privatisierung der Wasserversorgung, die sich an einem Paradigmenwechsel globalen Ausmaßes orientierte, die strategische Ausrichtung vieler Versorgungsunternehmen, vor allem in Berlin, radikal verändert. Dieser Prozess wird durch Bestrebungen für eine Liberalisierung von Wasserdienstleistungen gefördert.

Den Anforderungen an eine globale Wissensgesellschaft, die freien Informationsfluss via Internet und nahezu uneingeschränkte Mobilität voraussetzt, stehen die aktuellen Entwicklungen in den ländlichen Räumen Brandenburgs entgegen. Nicht an allen Orten darf mit schnellem Internetzugang gerechnet werden, und der Anschluss an internationale Verkehrsnetze ist oft mit stundenlangen Autofahrten verbunden. Für Kinder und Jugendliche bedeutet die starke Reduzierung der Nachwuchs-Geburtskohorten vor allem eine Reduzierung ihrer Peerkontakte. Zugleich verengt sich das Bildungs-, Freizeit- und Kommunikationsangebot für Minderjährige infolge des Infrastrukturabbaus auf immer weniger Angebote. Diesen Veränderungen müssen die Schulen in entlegenen Regionen durch verstärkte Bildungs- und Erziehungsleistung Rechnung tragen, damit sie auch weiterhin ihre Funktion für die Daseinsvorsorge wahrnehmen können und als Kristallisationspunkte ländlichen Lebens erhalten bleiben. Die „Schule als multifunktionalen Ort“ zu verstehen, an dem Kinder mehr Zeit mit anderen Kindern und Jugendlichen verbringen und Freizeit- und Bildungsangebote wahrgenommen werden können, wäre eine angemessene Neuauffassung der Bildungsinfrastruktur. Dies könnte durch Kooperationen mit Kommunen und Gemeinden gefördert werden. Die Schule kann so auch wieder Raum bieten für ein Engagement aller Bewohner und einen generationenübergreifenden Kontakt entstehen lassen (Schubarth 2007: 66).

### **Infrastrukturen sind Instrumente politischer Steuerung**

Infrastrukturen sind Instrumente politischer Steuerung, die jedoch häufig als politisch neutral bzw. unpolitisch präsentiert werden, weil ihre Ausgestaltung und Durchführung als rein technisch begründet dargestellt werden kann, obwohl ihnen politische Vorstellungen und Absichten zugrunde liegen und sie entsprechende Folgen zeitigen. Indem Infrastrukturen als neutrale Techniken präsentiert werden, gelingt es, die politischen und gesellschaftlichen Entscheidungen und Konflikte, die diesen zugrunde liegen, zu „verstecken“. Die Materialisierungen, Regelungen und Habitualisierungen einer Infrastruktur werden technisch, ökologisch oder ökonomisch als so und nicht anders realisierbar dargestellt, als Ergebnis von Sachzwängen, womit die darin enthaltenen sozialen Voraussetzungen und Konsequenzen als nicht berücksichtigungsfähig gekennzeichnet werden. Das Schließen der Dorfschule kann so als infrastrukturell

notwendig begründet werden, ohne die damit vermutlich verbundenen sozialen Benachteiligungen als Gerechtigkeitsfrage diskutieren zu müssen.

In die Infrastrukturen sind politische Vorstellungen und Auseinandersetzungen eingeschrieben, aber als solche nicht mehr unmittelbar zu identifizieren, weil die Infrastrukturen als technokratische Gebilde präsentiert und wahrgenommen werden. Im Laufe ihrer Geschichte werden infrastrukturelle Einrichtungen zu Selbstverständlichkeiten, die allgemein zur Verfügung stehen und scheinbar „gegeben“ sind, was erklärt, dass die ihnen zugrunde liegenden (politischen) Entscheidungen in der Praxis „vergessen“ werden. Die politischen Auseinandersetzungen sind somit in einen anderen „Aggregatzustand“ überführt: zementiert und institutionell verfestigt. Man kann dies als „Sedimentierung“ (Berger/Luckmann) politischer Auseinandersetzungen bezeichnen.

Beim Rück- und Umbau von Infrastrukturen im Zeichen des globalen Wandels werden sie jedoch wieder „verflüssigt“. Diese „Verflüssigung“ des Politischen, sprich Repolitisierung, findet statt, weil ehemals gewährleistete Anrechte und Garantien zur Disposition gestellt, neu verhandelt und festgelegt werden. Die Repolitisierung öffnet neue Perspektiven für eine Umorientierung der Infrastrukturpolitik und eine Rekonfiguration vorhandener sozialer und technischer Infrastrukturen. Weil dies eine Neubestimmung von Akteurskonstellationen einschließt, wird die Repolitisierung von vielen Stakeholdern mit Argwohn beobachtet.

### **Spannungsverhältnis von Integration und Ausdifferenzierung**

Zwischen dem Integrationsanspruch von Infrastruktur und den Tendenzen der Ausdifferenzierung (von Technik, Wissen, Bedarfen, Raumentwicklungen etc.) besteht ein Spannungsverhältnis. Daraus erwächst die Frage, ob der umfassende Integrationsanspruch, der für den industriellen Wohlfahrtsstaat typisch war, heute noch gesellschaftlich gewünscht und politisch angestrebt wird. Die Infrastrukturen basierten u. a. auf einer Solidarisierung verschiedener Regionen miteinander, die staatlich gesteuert wurde (Regionalausgleiche). So basieren die Wasserinfrastrukturen auf einem „Solidarpakt“, weshalb diejenigen, die ausscheren, mit dem Vorwurf konfrontiert sind, unsolidarisch zu handeln (z. B. Zweckverband Garbsen vs. Stadt Garbsen) und den gesamten Zusammenhalt zu gefährden. Solidarisierung verlangt von den einzelnen Trägern wie auch von den größeren Einheiten (Städten, Landkreisen, Verbänden, Regionen), wechselseitige Verpflichtungen einzugehen. Entsprechend ist zu fragen, welche räumlichen Einheiten die Grundlage für die Solidargemeinschaften bilden: Zweckverbände oder Kommunen oder gar Regionen? Auch in Berlin-Brandenburg ist dies bedeutungsvoll, weil die brandenburgische Landesregierung versucht, Schuldenlasten auf mehrere Schultern zu verteilen und Kommunen zusammenzulegen. Man kann dies als Quersubventionierung betrachten, die zur Realisierung von Skalenvorteilen eingeführt wird. Ob angesichts der föderalen Struktur und des Durchgriffsrechts oberer Instanzen die Kommunen zur Quersubventionierung gezwungen werden können, ist unsicher. Bei ausreichender Autonomie werden Kooperationen allerdings versuchen, Quersubventionierungen zu vermeiden.

## ***Ansatzpunkte für neues Denken und Handeln***

### **Politik der Mentalitäten**

Bei den zu entwickelnden (und zu lernenden) Antworten auf den globalen Wandel wird es auch um einen Mentalitätenwandel gehen. Durch veränderte Logiken in den Angeboten und den Nutzungen von Infrastrukturen können Anstöße zu einem Mentalitätenwandel angeregt werden. Unter Mentalitäten werden kollektive Einstellungen und Überzeugungen verstanden, die zumeist auf unausgesprochene, partiell sogar unbewusste Selbstverständlichkeiten rekurrieren, sich durch eine hohe Persistenz auszeichnen und sich auf Metaphern und Symbole berufen. Oben wurde bereits die Bedeutung von standardisiertem bzw. gewohnheitsmäßigem Verhalten angesprochen. Alltagshandeln verläuft häufig in von mentalen Prägungen ausgelegten Bahnen. Dies gilt besonders für den Umgang mit Infrastrukturen.

Elias hat gezeigt, dass einer „totalen Umorganisation des gesellschaftlichen Gewebes“ (Elias 1979: 320) eine allmähliche Umwandlung des psychischen Apparats – also ein Mentalitätenwandel – vorausgeht, der den gesellschaftlichen Wandel in eine bestimmte Richtung lenkt. Interessenkonflikte sind effektive Motoren, einen solchen Wandel in Gang zu setzen, weil durch sie Unbewusstes bewusst gemacht und kulturelle Selbstverständlichkeiten infrage gestellt werden.

Die „reifen Industriegesellschaften“ wie die Bundesrepublik Deutschland werden nicht umhin kommen, in eine Phase des mentalen Übergangs und Umdenkens einzutreten. Dabei werden nicht nur zahlreiche Alltagsroutinen ihren selbstverständlichen Charakter verlieren, auch grundlegende Überzeugungen (wie Glaubenssysteme oder Wertauffassungen) werden im Gefolge eines Mentalitätenwandels an Geltung einbüßen. Bereits jetzt weist eine steigende Zahl von Bürgerbegehren und Volksabstimmungen in die Richtung, dass sich ein neues Verständnis von repräsentativer Demokratie und bürgerschaftlichem Engagement formiert (vgl. den folgenden Abschnitt zu neuen Aushandlungs- und Mitwirkungsprozessen). Auch Lepenies (1997) hält in Europa tiefgreifende mentale Umorientierungen für notwendig. Er spricht von einer „Politik der Mentalitäten“, zu der die Sozialwissenschaften einen Beitrag leisten könnten. Eine „Politik der Mentalitäten“ würde die Menschen dabei unterstützen, ihre bisherigen Routinen aufzugeben und anders als gewohnt zu handeln. Hierzu könnten insbesondere innovativ geänderte Angebots- und Nutzungsregeln beitragen. Kommunen sind als Initiatoren eines solchen Mentalitätenwandels eine „besonders heilsame politische Größe“ (Ernst 2009), weil sie die Menschen unmittelbar ansprechen und durch Beispiele motivieren, neue Regeln zu entwickeln, deren praktische Durchsetzung sie besser als übergeordnete Ebenen kontrollieren können.

### **Neue Aushandlungs- und Mitwirkungsprozesse**

Zurzeit sind viele Konflikte zu beobachten, die sich, wie das Beispiel Stuttgart 21 zeigt, um infrastrukturelle Probleme ranken. Sie resultieren hauptsächlich daraus, dass die Verfahren der Planung und Umsetzung so lange dauern, dass sie den in der

Zwischenzeit stattfindenden gesellschaftlichen Wandel nicht mehr mit vollziehen können. So wurde Stuttgart 21 noch im Glauben an immerwährende Prosperität und stetig expandierende Infrastrukturen konzipiert. Jahrzehnte später – vor dem Hintergrund der Erfahrungen des demographischen Wandels und der Finanzkrise – wirkt ein solches Projekt nicht mehr zeitgemäß. Zugleich haben sich die Ansprüche an eine spürbare Mitwirkung der Bürger und die dazu erforderliche Transparenz der Vorgänge und Vorentscheidungen verändert.

Neben der verbesserten Transparenz würde vor allem eine veränderte Zeitplanung wesentlich zu einer größeren Anerkennung von infrastrukturellen Großprojekten beitragen. Sinnvoll erscheint die Aufteilung in mehrere Abschnitte mit jeweils geeigneten Kommunikations- und Mitwirkungsmöglichkeiten, eine realistische Kostenplanung und eine die Gestaltungsoptionen einbeziehende Planung.

Um auf die schwer einzuschätzenden Folgen des globalen Wandels strategisch eine Antwort zu finden und dabei die Aspekte des Mentalitätenwandels und der wachsenden Infrastrukturkonflikte berücksichtigen zu können, ist das herkömmliche Steuerungs- und Planungsinstrumentarium zu öffnen und flexibler zu handhaben.

In den neuen Aushandlungs- und Mitwirkungsprozessen sind folgende Kriterien zu beachten (ARL 2010):

- Berücksichtigung der Bandbreite möglicher Entwicklungen, z. B. unter Verwendung der Szenario-Technik;
- Reduktion der Verwundbarkeit (Vulnerabilität) gegenüber zu erwartenden Globalfolgen (neue Finanzierungsregimes, neue Haftungsregelungen, räumliche Anpassungen an Extremereignisse wie Hochwasser und Dürreperioden, nachhaltiges Verbraucherverhalten);
- Erhöhung bzw. Absicherung der Robustheit von Landschafts- und Wassernutzungen und von bewährten Bildungsinfrastrukturen, u. a. durch flexible Anpassungen ohne unzumutbaren Qualitätsverlust;
- Entwicklung von „No-Regret-Strategien“, das heißt der Auswahl solcher Anpassungsschritte, bei denen auch dann ein sinnvoller Ressourceneinsatz gegeben ist, wenn andere Entwicklungen eintreten als ursprünglich erwartet; künftige Chancen sollen durch frühzeitige bzw. starre Vorentscheidungen nicht verbaut (im doppelten Sinne) werden;
- Sicherstellung, dass in den Steuerungs- und Planungsinstanzen aus Katastrophen, Krisen und Konflikten gelernt wird, dass also eine Bereitschaft gefördert wird, die einmal eingeschlagenen Wege und Maßnahmen zu korrigieren, um längerfristige Verbesserungen zu erzielen.

Nach Lage der Dinge scheint in Zukunft eine Kopplung von formellen und informellen Steuerungsformen am besten geeignet zu sein. Formell stehen Landesentwicklungspläne, Regionalpläne und kommunale Flächennutzungspläne im Blickpunkt, die es zu öffnen und zu flexibilisieren gilt (das betrifft beispielsweise Bereiche zur Sicherung von Wasservorkommen, Gebiete für vorbeugenden Hochwasserschutz, Flächen für Einrichtungen der Bildungsinfrastruktur).

Informell ist an regionale Entwicklungskonzepte, an die Moderation von neuartigen Akteursnetzwerken sowie an kommunale Leitbilder oder Rahmenpläne zu

denken; dabei werden die Forderungen nach mehr Transparenz, nach mehr bürgerschaftlicher Mitwirkung, nach Reflexion und sozialem Lernen sowie nach vertikaler und horizontaler Abstimmung eine besondere Rolle spielen. Ein besonderer Beitrag ist dabei von der Kooperation benachbarter Gemeinden zu erwarten; in Pilotprojekten wird bereits die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur erprobt, die von den einzelnen Kommunen nicht mehr aufrechterhalten werden kann (Nationale Stadtentwicklungspolitik 2010). Eine Flexibilisierung lässt sich zudem durch geeignete, also output-orientierte Zielvereinbarungen ansteuern.

Schließlich sind differenzierte Formen eines sektoralen Monitoring zu entwickeln, das sich sowohl auf die realen Auswirkungen des globalen Wandels als auch auf die Eignung und Wirksamkeit der eingesetzten Steuerungsinstrumente bezieht.

### **Analyseinstrumentarium Brückenprinzipien**

Brückenprinzipien lassen sich nutzen, um den Um- und Rückbau der Infrastrukturen kritisch zu analysieren (Keim 2009). Brückenprinzipien beinhalten Maximen „zur Überbrückung der Distanz zwischen Soll-Sätzen und Sachaussagen und damit auch zwischen Ethik und Wissenschaft“ (Albert 1968: 76). Mit ihnen können politische Entscheidungen und Regelsysteme thematisiert und als Begrenzung von Handlungsoptionen enthüllt werden. Zudem können die Brückenprinzipien zur Formulierung von „Korridoren“ künftiger Handlungsoptionen sowie als Evaluationskriterien für die Entwicklung von No-Regret-Strategien und robusten Lösungen genutzt werden.

Wissenschaftstheoretisch sind Brückenprinzipien Maximen zur Überbrückung der Distanz zwischen empirischen Sachaussagen und normativen (politischen) Sollaussagen. Wird, wie hier geschehen, eine neue Auffassung von Infrastruktur formuliert, dann können die Brückenprinzipien als Relevanz- und Auswahlkriterien dienen. Gerade durch ihre explizite Normativität eignen sich die Brückenprinzipien als Richtschnur für die Ausarbeitungen zu den beiden Infrastrukturbereichen Wasser und Bildung. Die Brückenprinzipien können zum einen als Kritikinstrument gegenüber politischen Entscheidungen angewendet, zum anderen zur Bestimmung des Handlungskorridors eingesetzt werden, ohne das Handeln im Einzelnen festzulegen. Betrachtet man das prekäre Verhältnis zwischen Wissenschaft und Politik, so bieten Brückenprinzipien die Chance einer rationaleren Gestaltung der Kommunikation zwischen Wissenschaft und gesellschaftlichen Teilsystemen, also auch der Infrastrukturpolitik.

Das wichtigste Brückenprinzip besagt: Sollen impliziert Können, oder auch, logisch äquivalent: Nicht-Können impliziert Nicht-Sollen. Es handelt sich also um ein Realisierbarkeits-Postulat, um die Frage nach realen Handlungsmöglichkeiten beantworten zu helfen. Zu prüfen ist etwa, um beim Beispiel der beiden ausgewählten Infrastrukturbereiche zu bleiben, ob die Politik in der Wasserversorgung, beim Hochwasserschutz oder bei der Schulpolitik Handlungsoptionen eingeleitet hat, die auf der Basis des dazu aktuell vorliegenden Wissens als nicht realisierbar beurteilt werden müssen. Wenn infolge des Klimawandels mit anwachsenden Dürreperioden

gerechnet werden muss, kann eine Wasserlieferung in maximaler Menge (und zu bezahlbaren Preisen) nicht umstandslos garantiert werden. Wenn gleichzeitig mit häufigeren Extremereignissen (Hochwasser) zu rechnen ist, kann das Festhalten an den bisherigen starren Mechanismen zu ihrer Regulierung (Deichsanierung, zu geringe Überschwemmungsflächen, Zulassen von Besiedlungen im Gefährdungsgebiet etc.) nicht hinreichend funktionieren. Wenn demographische Wandlungen die Schulpolitik zu einer immer weiteren Ausdünnung der räumlichen Bildungsinfrastruktur veranlassen, so können ab einem kritischen Punkt weder das „Bildungsminimum“ noch die soziale Funktion der gemeindlichen Bildungseinrichtungen garantiert werden, jedenfalls nicht ohne unzumutbare Kosten und Folgen.<sup>6</sup>

Die Gegenwart zeichnet sich durch typische Formen der Ungewissheit und persönlichen Unsicherheit aus. Die Infrastrukturorganisation kann Ungewissheiten und Unsicherheiten zwar nicht beseitigen, aber doch Stabilisierungen schaffen. Diese Stabilisierung des Alltags – sprich die Entlastungsfunktion – gehört zu den latenten Funktionen von Infrastrukturen, die bei deren Weiterentwicklung zu beachten sind.

Die kommunalen und regionalen Infrastrukturen haben in Deutschland einen sehr hohen Standard, den es mühsam zu bewahren gilt – was nicht heißen soll, sie müssten nicht reformiert werden. Insbesondere muss der Blick darauf gelenkt werden, Infrastrukturangebote auch dort aufrechtzuerhalten, wo es rein ökonomisch (nach Effizienzkriterien) nicht lohnend erscheint, nämlich in dünn besiedelten Räumen oder kleineren Kommunen oder für benachteiligte Bewohnergruppen. Dabei sollten Zugangsmöglichkeiten und Chancengerechtigkeit im Vordergrund stehen. Solche Infrastrukturangebote wären dann ein gesellschaftliches Symbol für den Willen, gemeinsame, das heißt integrierende Ziele und Zwecke zu verwirklichen. Dafür müssten die vielfältigen Funktionen dieser Infrastrukturen jenseits ihrer originären Aufgabe sichtbar (und verhandelbar) gemacht werden. Brückenprinzipien machen derartige Funktionen und den politischen Willen zu ihrer Beachtung transparent.

## Literatur

- Albert, H. (1968): *Traktat über kritische Vernunft*. Tübingen: J. C. M. Mohr.
- ARL (2010): *Planungs- und Steuerungsinstrumente zum Umgang mit dem Klimawandel*. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung*. Diskussionspapier 8. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Barlösius, E. (2009): *Der Anteil des Räumlichen an sozialer Ungleichheit und sozialer Integration: Infrastrukturen und Daseinsvorsorge*. *Sozialer Fortschritt* 58, 22–28.
- Barlösius, E. & Neu, C. (2007): *Gleichwertigkeit – Ade? Die Demographisierung und Peripherisierung entlegener ländlicher Räume*. *Prokla* 36, 77–92.
- Beck, U. (1986): *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Beetz, S. (Hrsg.) (2007): *Die Zukunft der Infrastrukturen in ländlichen Räumen*. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe *Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume*, Nr. 14. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.

---

<sup>6</sup> Die Anwendung dieses und einer Reihe weiterer Brückenprinzipien wird im Kapitel IV näher dargestellt.

- Castells, M. (2001): Der Aufstieg der Netzwerkgesellschaft Opladen: Leske und Budrich.
- de Swan, A. (2003): Der sorgende Staat: Wohlfahrt, Gesundheit und Bildung in Europa und den USA der Neuzeit (Wohlfahrtspolitik und Sozialforschung). Frankfurt/Main: Campus Verlag.
- Elias, N. (1979): Über den Prozess der Zivilisation, Bd. 2. Soziogenetische und psychogenetische Untersuchungen. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Ernst, A. (2009): Die Intelligenz der Gruppe. Die ZEIT 50, 44f.
- Frey, R. L. (1979): Die Infrastruktur als Mittel der Regionalpolitik. Bern, Stuttgart: Verlag Paul Haupt.
- Gailing, L., Moss, T. & Röhring, A. (2009): Infrastruktursysteme und Kulturlandschaften – Gemeinschaftsgut- und Gemeinwohlfunktionen. In: C. Bernhardt, H. Kilper & T. Moss (Hrsg.), Im Interesse des Gemeinwohls. Regionale Gemeinschaftsgüter in Geschichte, Planung und Politik. Frankfurt/Main, New York: Campus, 51–73.
- Graham, S. & Marvin, S. (2001): Splintering Urbanism. Networked Infrastructures, Technological Mobilities and the Urban Condition. London, New York: Routledge.
- Hermes, G. (2005): Gewährleistungsverantwortung als Infrastrukturverantwortung. In: G. F. Schuppert (Hrsg.), Der Gewährleistungsstaat – ein Leitbild auf dem Prüfstand. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 111–132.
- Hüttl, R. F., Bens, O. & Plieninger, T. (Hrsg.) (2008): Zur Zukunft ländlicher Räume. Entwicklungen und Innovationen in peripheren Regionen Nordostdeutschlands. Berlin: Akademie Verlag.
- Jochimsen, R. (1966): Theorie der Infrastruktur. Grundlagen der marktwirtschaftlichen Entwicklung. Tübingen: J.C.B. Mohr.
- Keim, K.-D. K. (2009): Spacing-Konzepte und Brückenprinzipien zur Formulierung von Handlungsvorschlägen. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 1. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Kersten, J. (2008): Mindestgewährleistungen im Infrastrukturrecht. Informationen zur Raumentwicklung (1/2), 1–15.
- Knobloch, C. (2010): Wir sind doch nicht blöd! Die unternehmerische Hochschule. Münster: Westfälisches Dampfboot.
- Lepenies, W. (1997): Benimm und Erkenntnis. Die Sozialwissenschaften nach dem Ende der Geschichte. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Linde, H. (1972): Sachdominanz in Sozialstrukturen. Tübingen: J.C.B. Mohr.
- Martimort, D., Donder, P. d. & Villemeur, E. B. (2005): An incomplete contract perspective on public good provision. Journal of Economic Surveys 19 (2), 149–180.
- Moss, T. & Hüesker, F. (2010): Wasserinfrastrukturen als Gemeinwohlträger zwischen globalem Wandel und regionaler Entwicklung – institutionelle Er widerungen in Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 4. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Moss, T., Naumann, M. & Wissen, M. (Hrsg.) (2008): Infrastrukturnetze und Raumentwicklung. Zwischen Universalisierung und Differenzierung. München: oekom.
- Nationale Stadtentwicklungspolitik (2010): Projekt „Sicherung der Daseinsvorsorge im dünn besiedelten Raum – mittelzentrale Aufgaben und Funktionen gemeinsam gestalten“ (Onlinepublikation). [www.nationale-stadtentwicklungspolitik.de/projekte](http://www.nationale-stadtentwicklungspolitik.de/projekte) (30.03.2010). Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bauwesen, Städtebau und Raumordnung (BMVBS).
- Neu, C. (2006): Territoriale Ungleichheit – eine Erkundung. Aus Politik und Zeitgeschichte (37), 8–15.
- Neu, C. (Hrsg.) (2009): Daseinsvorsorge. Eine gesellschaftswissenschaftliche Annäherung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- NKGCf (2008): Umgang mit dem Klimawandel – Landnutzung im Spannungsfeld von Ressourcenschutz, Nahrungs- und Energienachfrage. Vorschlag für ein nationales Forschungsprogramm, beschlossen vom NKGCf am 17.1.2008 (Onlinepublikation). [http://www.nkgcf.org/downloads/5\\_Vorschlag\\_Nationales\\_Forschungsprogramm.pdf](http://www.nkgcf.org/downloads/5_Vorschlag_Nationales_Forschungsprogramm.pdf) (28.10.2009). München: Nationales Komitee für Global Change Forschung (NKGCf).

- Ostrom, E. (1999): Die Verfassung der Allmende. Jenseits von Staat und Markt. Tübingen: J.C.B. Mohr.
- Ostrom, E. (2005): Understanding Institutional Diversity. Princeton: Princeton University Press.
- Reichhoff, J. H. (2007): Eine kurze Naturgeschichte des letzten Jahrtausends. Frankfurt/Main: Fischer Taschenbuch Verlag.
- Sambale, J., Eick, V. & Walk, H. (Hrsg.) (2008): Das Elend der Universitäten. Neoliberalisierung deutscher Hochschulpolitik. Münster: Westfälisches Dampfboot.
- Schubarth, W. (2007): Bildung im ländlichen Raum: Probleme und Perspektiven des demographischen Wandels. In: S. Beetz (Hrsg.), Die Zukunft der Infrastrukturen im ländlichen Raum. Materialien der IAG Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume, Nr. 14. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, 61–67.
- Simmel, G. (1992): Soziologie. Untersuchungen über die Formen der Vergesellschaftung. Bd. II. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Swyngedouw, E. (2010): Place, Nature and the Question of Scale: Interrogating the Production of Nature. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 5. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- van Laak, D. (1999): Der Begriff „Infrastruktur“ und was er vor seiner Erfindung besagte. Archiv für Begriffsgeschichte 41, 280–299.
- van Laak, D. (2006): Garanten der Beständigkeit. Infrastrukturen als Integrationsmedien des Raumes und der Zeit. In: A. H. Doering-Manteuffel (Hrsg.), Strukturmerkmale der deutschen Geschichte des 20. Jahrhunderts. München: Oldenbourg.
- van Laak, D. (2008a): Planung. Geschichte und Gegenwart des Vorgriffs auf die Zukunft. Geschichte und Gesellschaft 34 (3), 305–326.
- van Laak, D. (2008b): Infrastruktur und Macht. In: F. Duceppe-Lamarre & J. I. Engels (Hrsg.), Umwelt und Herrschaft in der Geschichte / Environnement et pouvoir: une approche historique. München: Oldenbourg.
- Wasserkolloquium (Hrsg.) (2008): Wasser. Die Kommerzialisierung eines öffentlichen Gutes. Berlin: Dietz.

---

Eva Barlösius (✉)  
Leibniz Universität Hannover  
e.barloesius@ish.uni-hannover.de

Karl-Dieter Keim  
Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS), Erkner, und Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Georg Meran  
Technische Universität Berlin und Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)

Timothy Moss  
Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS), Erkner

Claudia Neu  
Hochschule Niederrhein, Mönchengladbach



## IV. Handeln unter Bedingungen des globalen Wandels

*Sonja Germer, Karl-Dieter Keim, Matthias Naumann, Oliver Bens, Rolf Emmermann, Reinhard F. Hüttl*

Die diversen Auswirkungen des globalen Wandels erfordern in den betroffenen Regionen spezifische, den jeweiligen Bedingungen angepasste Handlungsstrategien und Maßnahmen. Hierfür erste Vorschläge zu entwickeln war ein Ziel der interdisziplinären Arbeitsgruppe *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung*. Im Folgenden sollen daher zunächst übergeordnete Herausforderungen des globalen Wandels skizziert werden, die alle untersuchten Themenfelder betreffen. Daran schließt die Darstellung von Brückenprinzipien an, die eine Handlungsorientierung für den Umgang mit den Folgen des globalen Wandels bieten können. Am Ende steht ein Ausblick auf weitergehende Forschungsarbeiten.

### Übergeordnete Herausforderungen des globalen Wandels<sup>1</sup>

Zur Bewältigung der Folgen des Umweltwandels für den Landschaftswasserhaushalt (Kapitel I), der Auswirkungen veränderter Landnutzungen für Wasserressourcen (Kapitel II) wie auch des Wandels von Denk- und Handlungsmustern bei der Gestaltung von Infrastruktur (Kapitel III) lassen sich allgemeine Herausforderungen identifizieren, die alle vorgenannten Themenfelder gleichermaßen betreffen. Dazu zählten erstens die Bedeutung unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Maßstabebenen, zweitens eine wachsende Unsicherheit und Flexibilisierung von Entscheidungskontexten, drittens das Handeln unter Bedingungen des Nicht-Wissen und viertens die Entstehung von neuen Akteurskonstellationen.

Diese Herausforderungen stellen keine analytisch trennscharfen Kategorien dar, sondern stehen für Problemkomplexe des globalen Wandels, die einander überlappen, verstärken und teilweise in einem Spannungsverhältnis zueinander stehen. Gemeinsam ist den verschiedenen Herausforderungen, dass sie bestehende Instrumente und Verfahren der Problembearbeitung infrage stellen. Um allgemein gültige Handlungsorientierungen für regionalspezifische Antworten auf den globalen Wandel zu entwickeln, ist es daher notwendig, diese übergreifenden Herausforderungen zu präzisieren.

---

<sup>1</sup> Dieser Abschnitt fasst zentrale Ergebnisse einer Diskussion aller Mitglieder im Rahmen der Plenumsitzung der IAG *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung* zusammen.

### ***Bedeutung unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Maßstabsebenen***

Die unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Maßstabsebenen, deren Bedeutungswandel und Interaktion, bilden eine zentrale Herausforderung für Entscheidungsträger im Rahmen aller hier betrachteten Bereiche des globalen Wandels. Denn sowohl die Veränderungen des globalen Wandels als auch die Reaktionen darauf verlaufen nicht einheitlich in Raum und Zeit (u. a. Rosswall et al. 1988). Dies betrifft etwa die Emission von Treibhausgasen, die global-langzeitig wirken, deren konkrete Wirkungen sich jedoch lokal-kurzzeitig ereignen können. Auch Prozesse, die in Modellen abgebildet werden, können sich je nach Skala unterschiedlich verhalten und sind zum Beispiel linear, nicht-linear oder schwellenwertabhängig (Ehleringer et al. 1993). Auch sind Klimaprojektionen nicht unbedingt von einer räumlichen Skala auf eine andere übertragbar (u. a. Zimmermann 2007; Walkenhorst & Stock 2009).

Bei der Landnutzung und den Agrarmärkten sollte ebenfalls die jeweilige räumliche und zeitliche Maßstabsebene beachtet werden. So haben etwa die rechtlichen Regelungen für Biogasanlagen eine zeitliche wie auch räumliche Dimension. Die aktuellen Förderungen von Biogasanlagen haben Auswirkungen für die Pflanzenproduktion und somit auch für die Landnutzung, die weit über den zeitlichen und räumlichen Rahmen der Fördermaßnahme hinausgehen. Ein weiteres Beispiel betrifft die Vorratshaltung von Getreide und damit die räumliche und zeitliche Ebene der Betrachtung von Agrarmärkten. So bestehen 2010/2011 weltweit im Vergleich zu den vorangegangenen drei Jahren die geringsten Vorräte an Getreide (IGC 2011), so dass Staaten dazu übergehen, sich über Bodenerwerb im Ausland langfristig ihre Versorgung mit landwirtschaftlichen Produkten zu sichern (Fritz 2009). Der räumliche wie zeitliche Fokus der Sicherung der Nahrungsmittelversorgung erweitert sich damit. Es ist daher zu fragen, was globale Veränderungen in der Landwirtschaft für einzelne Betriebe bedeuten werden (Hagedorn, S. 86–92).

Politische Eingriffe und Gestaltung können zum Teil nicht wirksam werden, wie der Klimawandel oder die Finanzkrise eindrücklich zeigen, da die bisherigen räumlichen Bezugseinheiten, wie etwa der Nationalstaat oder die Europäische Union, zu eng gefasst sind hinsichtlich des globalen Ausmaßes der Veränderungen und deren Ursachen. In diesem Zusammenhang beziehen sich politische Maßnahmen auf andere räumliche Ebenen als die, auf denen grundlegende Entscheidungen der Finanz- oder Klimapolitik getroffen werden. Die Frage räumlicher Maßstabsebenen wird in der Humangeographie von Swyngedouw und anderen mit Begriffen des „Rescaling“, d. h. der Dynamisierung des Handelns quer zu verschiedenen räumlichen Maßstabsebenen, theoretisch konzeptionalisiert (Swyngedouw 1997, 2010; Wissen et al. 2008). Aber auch für zeitliche Maßstabsebenen gilt, dass sich politische Maßnahmen auf unterschiedliche Zeiträume auswirken. So ist zu bestimmen, auf welche zeitlichen Horizonte sich Entscheidungen beziehen und für wie viele Generationen Verantwortung übernommen werden kann.

## ***Unsicherheit und Flexibilisierung***

Unsicherheit und Flexibilisierung bilden zentrale Rahmenbedingungen für regionale Strategien im Umgang mit dem globalen Wandel. Unsicherheit meint hier die Ungewissheit über die zukünftige Entwicklung des globalen Wandels und seiner regionalen Ausprägungen aufgrund von unvollkommener Information sowie unzureichender Kenntnis der zugrunde liegenden Prozesse.

Grundsätzlich sind diejenigen Systeme und Akteure überlegen, die besser mit *Unsicherheiten* umzugehen wissen. Auch wenn Unsicherheiten im Zuge des globalen Wandels wachsen, ist der Umgang mit diesen erlernbar (Renn et al. 2007). Beispielsweise kann ein besseres Verständnis der Aussagekraft von Mittelwerten und Spannbreiten von Klimawerten oder auch von Szenarien vermittelt werden. Beispiele sind die in der Klimaforschung bereits etablierten Multi-Modell-Ansätze, bei denen die entsprechenden Parameter mit verschiedenen verfügbaren Modellen berechnet und anschließend verglichen werden (Meehl et al. 2007). Weiterhin gilt, dass nicht alle Unsicherheiten zwangsläufig zu Verunsicherungen führen. Die Referenzhorizonte für Unsicherheiten sind sehr unterschiedlich und verändern sich im historischen Verlauf. Da Beobachtungen verdichtet und Modellierungen beständig verbessert werden, ändert sich das Wissen stetig. In diesem Zusammenhang kann die Informationstechnologie Instrumente zur Verfügung stellen, um die Erzeugung und Verbreitung von neuem Wissen zu beschleunigen bzw. Wissen schneller zu aktualisieren (Köstner/Kuhnert, S. 43–49).

Mit wachsender Unsicherheit wächst auch die Notwendigkeit zur *Flexibilität* bei der Planung und Findung von Entscheidungen. Beispielsweise sollten Projektplanungen auf eine Zeitachse gelegt und in Stufen unterteilt werden, um eine spätere Anpassung an bislang noch nicht bekannte Anforderungen zu ermöglichen. Gleichzeitig sollte das Projektmanagement von einem Risikomanagement begleitet werden, um sich verändernde Ausgangsbedingungen zu identifizieren (Schelle et al. 2008). Sinnvoll ist auch ein modulares Planen, bei dem der Planungsprozess in kleinere Einheiten unterteilt wird (Haaren et al. 2005). Dabei sollte zudem beachtet werden, dass die Gegenstände der Planung zusätzliche neue Funktionen bekommen können, wie Beispiele von vorhandenen Infrastrukturen wie Bahnhöfe oder Talsperren zeigen (Barlösius/Keim/Meran/Moss/Neu, S. 164f.). Viele Planungen erfolgten bisher vor allem deduktiv, wobei ausgehend von einem Ziel verschiedene Maßnahmen auf dem Weg dorthin abgeleitet wurden. Demgegenüber geht das modulare Planen induktiv vor, womit eine stärkere Ergebnisoffenheit verbunden ist. Dabei ist die bisherige Grundannahme vieler Planungen hinsichtlich eines dauerhaften Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums kritisch zu hinterfragen.

Flexibilität ist jedoch nicht nur im Rahmen von langfristigen Großprojekten gefragt, sondern auch in der jährlichen, das heißt vor allem operativen Planung der Landnutzung und Agrarproduktion, denn das Wetter, die künftige Nachfrage, die EU-Förderung etc. sind grundsätzlich mit Unsicherheiten verbunden. Daher sollte einerseits der Landwirt beim Spektrum von Produkten und bei den Anbauformen flexibel sein. Für die Pflanzen- und Tierzucht werden andererseits Stresstoleranz und physiologische Flexibilität als Zuchtungsziele immer wichtiger (Broer/

*Brunsch*, S. 129–134). Hierbei ist zu beachten, dass Stresstoleranz häufig mit Produktivitätseinbußen einhergeht, was wiederum einen höheren Wasserbedarf zur Produktion der gleichen Mengen Biomasse bzw. Erntegut bedeutet.

### ***Handeln unter Bedingungen des Nichtwissens***

Alle Entscheidungen sind mit der Herausforderung konfrontiert, dass Handeln häufig unter Bedingungen des Nichtwissens stattfindet. Auch wenn Wissen über die Trends der künftigen Entwicklung vorhanden ist, sollten weitere Optionen offengehalten werden. Im Sinne einer „Governance of Preparedness“ (Medd & Marvin 2005) sind auch unsichere und bislang nicht bekannte Entwicklungen zu berücksichtigen. Für den Fall, dass Entwicklungen falsch eingeschätzt oder ungünstige Entscheidungen in der Vergangenheit getroffen wurden, sollte eine schnelle Umorientierung möglich sein.

Da Entscheidungen häufig unter Bedingungen des Nichtwissens getroffen werden, ist eine Orientierung am „No-Regret“-Prinzip sinnvoll: Maßnahmen sollten stets die Robustheit bzw. die Resilienz eines Gesamtsystems fördern (Hallegatte 2009). Die Bodenverbesserung mit der Verbesserung des Humus- und Wasserhaushalts kann so für den Bereich Landwirtschaft als „No-Regret“-Maßnahme angesehen werden, da sie dazu beiträgt, Schwankungen im System abzapuffern, aber auch einen positiven Effekt auf die landwirtschaftliche Produktion haben kann, wenn die erwarteten Schwankungen nicht eintreten. Die Komplexität von Systemen kann die Stärkung der Robustheit erschweren. Also sollten die Akteure den systemischen Zusammenhang überblicken, in seiner Besonderheit erkennen und hinsichtlich seiner Ausgestaltung kommunizieren und handhaben können. Zur Formulierung von „No-Regret“-Maßnahmen bedarf es wie bei der modularen Planung einer Kombination von induktiven und deduktiven Ansätzen. Dies bedeutet, dass der Weg zum Ziel optimiert wird, aber das Ziel auch mehrfach neu definiert werden kann. Die „No-Regret“-Strategie stellt dabei eine grundsätzliche Abkehr von bisherigen angebotsorientierten und investiven Planungen, etwa im Infrastrukturbereich dar, die in der Vergangenheit Systeme mit mangelnder Beweglichkeit und hoher Pfadabhängigkeit schufen (*Barlösius/Keim/Meran/Moss/Neu*, S. 149 f.).

Ein weiterer Punkt betrifft die Tatsache, dass es kein endgültig sicheres Wissen gibt, aber abgesichertes Wissen geben kann. Es sind Kriterien und Verfahren zu identifizieren, die Aussagen darüber erlauben, wann Wissen in Bezug auf ein bestimmtes Problem ausreichend abgesichert ist, um eine Entscheidung treffen zu können. Daher sollte beim Handeln unter Bedingungen des Nichtwissens angestrebt werden, eine Lösung auszuhandeln, zu der alle Beteiligten stehen können, obwohl sie wissen, dass sie nur einen Teil der für die Entscheidung notwendigen Informationen sicher kennen. Die Befähigung zur Kommunikation wäre dann im Zuge des Aushandlungsprozesses Garant für den geeigneten Umgang mit Folgen des globalen Wandels im Sinne eines kommunikativ-konstruktiven Vorausdenkens bzw. eines kommunikativ-praktischen Handelns, wenn Veränderungen eingetreten sind (pers. Mitteilung H.-E. Tenorth, 2010).

### ***Entstehen neuer Akteurskonstellationen***

*Neue Akteurskonstellationen* sind als eine Erweiterung der bisher beteiligten Stakeholder und als eine Veränderung der Rollen bzw. Rollenverständnisse der beteiligten Akteure zu verstehen. Da die neuen Problemlagen wie Klimawandel, veränderter Landschaftswasserhaushalt und demographischer Wandel komplex sind und kommunale Grenzen überschreiten, sind Lösungsvorschläge immer weniger von einem Ressort oder einer Wissenschaftsdisziplin allein zu erwarten. So führt die wachsende Zusammenarbeit von Wissenschaft, Fachbehörden und Landnutzern zur Erweiterung der beteiligten Stakeholder. Diese Kooperationen werden im Zuge von Querschnittsaufgaben wie der Gestaltung neuer Anpassungsmaßnahmen als Reaktion auf den Klimawandel bzw. Veränderungen des Landschaftswasserhaushaltes oder den demographischen Wandel enger und eröffnen die Möglichkeit, integrierende Maßnahmen für die Ressourcenbewirtschaftung oder auch die Infrastrukturplanung zu entwickeln. Erste strukturelle Ansätze sind, dass z.B. Referate zu Klimaschutz und Klimawandel nicht in den Fachabteilungen, sondern unter Grundsatzangelegenheiten geführt werden, wie dies bei Klimareferaten in der Landesverwaltung des Freistaats Sachsen der Fall ist. Wichtig ist, dass zentrale Ansprechpartner benannt sind. So entstehen neue Akteure, die in laufenden Projekten z.B. als Klimaanpassungsbeauftragte (Verwaltung) oder -manager (Wirtschaft) bezeichnet werden (KLIMZUG-Nordhessen). Zudem sind erweiterte Akteurskonstellationen in der Landwirtschaft festzustellen. Landwirte sind gefordert, sich mit einer immer breiteren Palette von Technologien, Produkten und Märkten auseinanderzusetzen. Hierzu zählen beispielsweise Solar- oder Biogasanlagen oder auch die Nutzung von GPS-Systemen. Hinzu kommt, dass sich die wissenschaftlichen Bezugsdisziplinen – nicht nur für die Landwirtschaft – verändert haben. Landwirte benötigen daher nicht nur erweiterte Netzwerke, sondern auch ein komplexeres Wissen, um effizient einen Betrieb führen zu können.

In diesem Kontext nehmen Akteure veränderte Rollen ein. Landwirte, die sich herkömmlich mit der Produktion von Futter- und Lebensmitteln beschäftigten, übernehmen bei (Teil-)Umstellung der Produktion auf nachwachsende Rohstoffe und Inbetriebnahme von dezentralen Biogasanlagen zunehmend auch die Rolle eines Energiewirtes (Plieninger et al. 2009; Plieninger et al. 2008). Bei langjährigem negativen Landschaftswasserhaushalt ist es bei entsprechendem finanziellen Anreiz auch denkbar, dass Land- und Forstwirte als „Wasserwirte“ tätig werden, indem sie ihre Landbewirtschaftungsmethoden bzw. Anbausysteme so ausrichten, dass sie einerseits wassersparend sind und andererseits die Grundwasserneubildung begünstigen (WWAP 2003).

Wo neue Akteurskonstellationen infolge von Querschnittsaufgaben entstehen, besteht Konfliktpotenzial. So können Akteure auf bestehende administrative Grenzen oder auf Grenzen zwischen bestehenden Ressorts stoßen, oder es treffen Akteure mit unterschiedlichen Denkweisen aufeinander. Außerdem bestehen eventuell noch ungenutzte Synergien. Die Ressorts sind hinsichtlich der Instrumentarien wie Ordnungsrecht oder Fördermittel sehr unterschiedlich ausgestattet und ausgerichtet. Im Hinblick darauf sollten bereits vorhandene oder zukünftig mögliche Synergien

und Komplementaritäten zwischen bestehenden Ressorts näher untersucht und Inkompatibilitäten zwischen Ressorts aufgelöst werden.

Querschnittsaufgaben führen auch zu einem Bedarf an *neuen Formen der Bürger- und Nutzerbeteiligung*, die eine Ausweitung von bestehenden Instrumenten der Partizipation umfassen. Diese sind notwendig, um die Akzeptanz für verschiedene Projekte nicht nur im Infrastrukturbereich, sondern auch bei Landnutzungen etc. zu erhöhen. In vielen Themenfeldern erweitern Bürgerinitiativen die bisherigen Akteurskonstellationen, wie Konflikte um gentechnisch veränderte Pflanzen oder Infrastrukturprojekte zeigen (Joss & Durant 1995). Dem Interesse von Bürgern und Nutzern an einer Beteiligung bei der Gestaltung künftiger Projekte sollte durch entsprechende Partizipationsmöglichkeiten Rechnung getragen werden. Als Beispiel hierfür stehen aktuelle transdisziplinäre Forschungsprojekte, die das Einbeziehen von Stakeholdern aus Verwaltung, Politik und dem Nutzerkreis an den Beginn der Projektplanung stellen (Kirchner-Heßler et al. 2007). Bürger- und Nutzerbeteiligung ist jedoch nicht immer leicht zu realisieren, und eine Akzeptanz der Projekte ist trotz früher Bürgerbeteiligung nicht immer garantiert. Nicht alle Probleme sind durch eine Optimierung der Partizipation allein lösbar, und nicht alle Entscheidungen sind kompromissfähig oder können zur Disposition gestellt werden. Dennoch müssen Wege gefunden werden, die eine umfassende Beteiligung von Bürgern und Nutzern einerseits ermöglichen, die es andererseits aber erlauben, dass am Ende des Beteiligungs- und Aushandlungsprozesses auch eine Entscheidung für einen Lösungsbeschluss getroffen werden kann (Rittel 1992). Da diese Fragen grundsätzlich die Zukunft der Demokratie betreffen, dürfen der Bürger und dessen Beteiligung nicht als „notwendiges Übel“ betrachtet, sondern sollten als gemeinsamer und gewinnbringender Prozess zur Gestaltung künftiger Planungen angesehen werden. Der Bürger darf dabei nicht primär als „Betroffener“, sondern sollte auch als Experte gesehen werden (Calheiros et al. 2000; Rittel 1992). Beispiele wie die von Bürgern initiierten energieautarken Gemeinden zeigen, dass die starre Dichotomie von „Entscheidern vs. Bürgern“ zunehmend obsolet wird, da Bürgerbeteiligung durchaus proaktiv und gestaltend wirken kann.

Allgemein gilt, dass sich Akteurskonstellationen während eines Planungsprozesses, der sich mitunter über mehrere Jahrzehnte hinzieht, verändern können und es zur Entstehung von unerwarteten Konstellationen kommen kann. Damit stellt sich auch hier die Notwendigkeit, Planungen so zu gestalten, dass spätere Veränderungen hinsichtlich der Nutzung bzw. Nutzergruppen noch berücksichtigt werden können. Die Akzeptanz von Investitionsvorhaben kann dadurch vergrößert werden, dass nicht alles ad hoc als Großprojekt entschieden und geplant wird. Wenn Verfahren flexibel gestaltet werden, sehen sich Bürger und Nutzer nicht im Nachhinein gezwungen, Möglichkeiten der Mitwirkung und die dazu erforderliche Transparenz der Vorgänge und Vorentscheidungen einzuklagen.

Schließlich sind auch *Transparenz und ein stetiger Informationsfluss* wesentliche Voraussetzungen, um neuen Akteurskonstellationen und Beteiligungsformen gerecht zu werden. Hierzu zählen beispielsweise neue Beratungs-, Informations- und Vermittlungsangebote zum Klimawandel und dessen Folgen für Landnutzung und

Nutzung natürlicher Ressourcen in Bund, Ländern und Regionen, wie das Deutsche Klima-Konsortium (DKK), das Climate Service Center (CSC), das Kompetenzzentrum für Klimafolgen und Anpassung (KomPass) und regionale Klimabüros, wie etwa die Klimaplattform Brandenburg-Berlin. Wie integrierte regionale Ansätze von Anpassungen an den Klimawandel aussehen könnten, wird derzeit in den KLIMZUG-Projekten, für Brandenburg in INKA-BB, entwickelt (BMBF 2009). Eine wirkungsvolle Möglichkeit, mit Konflikten hinsichtlich neuer landwirtschaftlicher Produktionsmethoden umzugehen, ist es, Information über die konkreten Inhalte von neuen Projekten zugänglich und gleichzeitig sowohl die Chancen als auch das Nichtwissen transparent zu machen.

Die Bewältigung der hier aufgeführten übergeordneten Herausforderungen des globalen Wandels erfordert die Berücksichtigung neuer Rahmenbedingungen von Politik und Planung wie auch Handlungsprinzipien, die es erlauben, auch unter Ungewissheit Entscheidungen zu treffen und diese angesichts neuer Entwicklungen und bei Erkenntnisgewinn entsprechend anzupassen und weiterzuentwickeln. Hierfür können Brückenprinzipien wertvolle Anregungen liefern.

### **Brückenprinzipien als Handlungsorientierung für den Umgang mit dem globalen Wandel**

Häufig ist zu beobachten, dass Handelnde umstandslos zur Formulierung von Lösungsvorschlägen schreiten, sobald die Herausforderungen identifiziert sind. Tatsächlich besteht jedoch zwischen der Definition der Situation und den zu treffenden Entscheidungen eine Begründungslücke, aus Ist-Aussagen lassen sich logisch keine Soll-Aussagen ableiten. Daher wird empfohlen, den normativen Zwischenschritt transparent zu machen, indem herangezogene Prinzipien, Präferenzen und Wertungen dargestellt werden.

Brückenprinzipien sind Hilfsmittel, die angewandt werden zur kritischen Bewertung von Lösungsvorschlägen und zur Formulierung von Handlungsoptionen. Sie kommen zum Einsatz, wenn außerwissenschaftliche (politische, gesellschaftliche) normative Entscheidungen samt ihrer Wertbezüge mithilfe theoretisch fundierter empirischer Ergebnisse kritisiert und in einem weiteren Schritt Vorschläge gemacht werden sollen, wie politische oder gesellschaftliche Probleme auf wissenschaftlicher Grundlage rational zu lösen sind (Keim 2009). Betrachtet man das prekäre Verhältnis zwischen Wissenschaften und Politik, so bieten Brückenprinzipien die Chance, die Kommunikation zwischen diesen beiden Teilsystemen in diesem Sinne zu verbessern.

Die Anwendung solcher Brückenprinzipien dient dazu, die Zahl der normativ aufgeladenen Problemlösungen deutlich zu reduzieren. Damit wird ein Weg geebnet für eine stärkere Rationalität bei der Regulierung von Gemeinschaftsgütern, die als Antwort auf die Folgen des globalen Wandels neu organisiert werden. Brückenprinzipien sollten folglich nicht mehr als genuin wissenschaftliches Mittel der Rationalitätssteigerung, sondern als Mittel der rationaleren Gestaltung der *Kommunikation zwischen den entsprechenden Teilbereichen regionaler Steuerung* verstanden werden, also der

verschiedenen wissenschaftlichen Teildisziplinen, der Raum-, Infrastruktur-, Agrar- und Ernährungspolitik sowie der dazugehörigen Wirtschafts- und Technikbereiche.

Die Brückenprinzipien werden hier in Form von sieben Postulaten präsentiert, die sich aus ihnen folgern lassen. Zusätzlich soll eine Übersicht konkreter Fragen die Anwendung im Einzelfall erleichtern (Tab. 10).

- Das wichtigste Brückenprinzip lautet: „Sollen impliziert Können“ oder, logisch äquivalent, „Nicht-Können impliziert Nicht-Sollen“. Was politisch geplant werden soll, lässt sich nicht betreiben, wenn es aufgrund des wissenschaftlichen Wissens nicht möglich ist. Daraus resultiert ein *Realisierbarkeits-Postulat*, das als kritisches Prüfkriterium an politische Entscheidungen im Hinblick auf den globalen Wandel angelegt werden sollte (Barlösius/Keim/Meran/Moss/Neu, S. 170 f.). Umgekehrt eröffnet der Stand des wissenschaftlichen Wissens einen Korridor an möglichen gesellschaftlichen bzw. politischen Lösungen.
- Als zweites Brückenprinzip kann formuliert werden: Ungewissheit und Chaos evozieren einen Hang zur Ordnung. Ordnung wird hier nicht rechtlich verstanden, sondern als fundamentales (anthropologisches) Wirklichkeitsvertrauen, als Heilen (von Unheil oder Katastrophenfolgen), das gesellschaftlich durch schützende Sinnstrukturen aufgenommen und über unterschiedliche gesellschaftliche Medien gestaltet wird. Das *Ordnungs-Postulat* nimmt in den Blick, inwieweit Problemlösungen einen messbaren Beitrag dazu leisten, Unheil bzw. Ungewissheit und Chaos zu zähmen, zu reduzieren, einzuhegen. Anders gewendet: Anomische Situationen (Situationen der Ordnungs- und Normlosigkeit) sollen durch Sinnstrukturen oder auch sozialtechnologische Systeme vermieden oder aber, sofern bereits vorhanden, spürbar abgebaut werden. Hingegen wären Lösungen zu kritisieren, die das Maß an Unheil/Ungewissheit erhöhen, ohne hinreichende Stabilisierungsvorschläge mitzuliefern.
- Das dritte Brückenprinzip besteht darin, auf die Urform des *Spiels* zurückzugreifen, ein kulturanthropologisches Grundelement: Gehe komplexe Lösungen spielerisch an. Spiele besitzen eigene Regeln, die auf Zeit gelten und die Regeln der „normalen“ Welt außer Kraft setzen. Dadurch eröffnen sie befreiende, bereichernde Erfahrungen und überraschende Lösungen für spielerisch zu bearbeitende Probleme. Zum Spiel zählen auch Neugier- und Risikoverhalten sowie Mut und Spontaneität. Auf unser Aufgabenfeld angewandt, bedeutet ein solches *Experimentier-Postulat*, Spielräume für experimentelle Modelle und kreative Projekte zu schaffen. In die möglichen Handlungsoptionen sollen also situativ Erprobung und Improvisation eingebaut werden. Gerade für Situationen mit einem hohen Grad an Nichtwissen erscheint das Experimentieren unter definierten Randbedingungen eine angemessene Handlungsweise.
- Ergänzend ist ein *Kontext-Postulat* notwendig und hilfreich: Berücksichtige besondere Kontexte, wenn politische Ziel- und Strategieaussagen implementiert werden sollen. Diese Notwendigkeit folgt aus der Tatsache, dass Regelungen zur Daseinsvorsorge die situationsspezifischen Gegebenheiten (zeitlich, räumlich, sozial, kulturell) sowohl der raumgebundenen Ressourcen als auch der adressierten Benutzergruppen einbeziehen müssen, da sonst mit hoher Wahrscheinlichkeit Fehlleistungen und damit negative Effekte auftreten. Folglich kann es

nur um Kontextsteuerung gehen, also um Rahmenaussagen, wobei die Konkretisierungen den dezentralen (regionalen) Einheiten überlassen bleiben sollten.

- Weiter wird auf ein *Legitimitäts-Postulat* hingewiesen: Strebe bei Programmen mit Wertimplikationen eine breite Akzeptanz der Adressaten an – eine Aufforderung, die bei pluralistischen Gesellschaften schwer herzustellen ist. Ohne Akzeptanz der Benutzergruppen wären Angebote zur Daseinsvorsorge bzw. erwartete Anpassungsleistungen beim Klimawandel nur autoritär, also mittels der hierarchischen regulativen Politik (Gebote, Verbote) durchzusetzen. Das aber ist demokratisch unbefriedigend; ein bloßer Rückgriff auf die Mechanismen der repräsentativen Demokratie erscheint nicht hinreichend. Hier trägt die sozialpsychologische Forschung wichtige Ergebnisse zu Attitüden, zu Vorurteilen, zur Konsens- und zur Lernbereitschaft bei (Rohmann & Bierhoff 2010). Das spricht dafür, mehr experimentell, das heißt mit Lösungen auf Zeit, zu arbeiten (siehe drittes Brückenprinzip). Dezentrale, regionale Einheiten scheinen auch insoweit eine geeignete Handlungsebene darzustellen.
- Zusätzlich wird ein *Verhandlungs-Postulat* als Brückenprinzip vorgeschlagen. Dies ist eine entscheidende Bedingung für die Überwindung des „Free-rider“-Prinzips, d. h. des egoistischen Missbrauchs von Gemeinschaftsgütern: Schaffe die Voraussetzungen für eine organisierte, verbindliche Kommunikation, damit kollektive Entscheidungen zustande kommen. Solche Voraussetzungen sind einmal eine langsam wachsende Vertrauensbasis und Reziprozität („social capital“), zum anderen Anreizsysteme jenseits individueller Vorteile. Der Erfolg bei der Inszenierung regionaler Regimes hängt offenbar davon ab, wie gut sich unterschiedliche Akteursgruppen via Verhandlungsagenda (und einer effektiven Führung dabei) zusammenbringen lassen.
- Schließlich soll ein *Nachhaltigkeits-Postulat* als Brückenprinzip eingeführt werden. Es besagt, kurz gefasst: Steuere Entwicklungen sozialer, ökonomischer oder ökologischer Art und kontrolliere sie so in ihren Wirkungen, dass eine Generationengerechtigkeit erreicht wird, dass demnach Belastungen und Nachteile nicht überwiegend in die Zukunft verlagert werden. Dieses Postulat folgt zwar moralisch-rationalen Begründungen, doch diese entstammen nicht den philosophisch-anthropologischen Grundlagen; die Menschen neigen offenbar eher zu einer nicht-nachhaltigen Lebensweise. Die Begründung bedeutet daher, eine für notwendig erachtete Handlungsrichtung gegen vielfache lebenspraktische Realitäten Stück für Stück zu verwirklichen.

Mit den vier zuletzt genannten Brückenprinzipien wird deutlich, dass ihre Verwendung selbst einer weiteren Begründung bedarf: Warum gerade diese Postulate, warum keine anderen oder zusätzliche? Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung* wählte nach Diskussion die hier empfohlenen Prinzipien aus und hält sie für besonders geeignet. Im Übrigen muss die Anwendung solcher Prinzipien für jede konkrete Situation eigenständig definiert werden.

Um eine mögliche Anwendung der Brückenprinzipien zur kritischen Bewertung von Handlungsoptionen zu veranschaulichen, sind im Folgenden konkrete Fragen im Sinne von Prüfkriterien formuliert, die hierbei hilfreich sein können.

**Tabelle 10.** Kriterien zur Bewertung von Handlungsoptionen auf der Basis von Brückenprinzipien

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Realisierbarkeits-<br>Postulat | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hat die Politik Handlungsoptionen eingeleitet, die mit dem Stand des wissenschaftlichen Wissens nicht vereinbar sind?</li> <li>• Sollten diese Optionen daher kritisiert bzw. um alternative Optionen ergänzt werden?</li> <li>• Ergeben sich aus dem Stand des wissenschaftlichen Wissens Korridore bzw. grundsätzliche Strategien für einzelne Handlungsoptionen?</li> <li>• Wie sind diese normativen Ausrichtungen begründbar?</li> </ul>   |
| Ordnungs-<br>Postulat          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sind die potenziellen Folgen und Risiken einer gewählten Handlungsoption im Hinblick auf ihre gestaltende Ordnungswirkung gut abzuschätzen?</li> <li>• Inwieweit können die politisch oder ökonomisch vorgeschlagenen Problemlösungen (Handlungsoptionen) die Gefahr zusätzlicher Ungewissheit bzw. chaotischer Situationen vermeiden oder abmildern?</li> <li>• Falls nicht, lassen sich alternative Problemlösungen vorschlagen, die bei den zu erwartenden Wirkungen besser abschneiden?</li> </ul>  |
| Experimentier-<br>Postulat     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gibt es einen juristischen Rahmen, um Lösungen auf Zeit zu „probieren“?</li> <li>• Wie sollten Lösungsversuche bzw. Handlungsmodelle organisiert werden, damit sie experimentelle Spielräume eröffnen?</li> <li>• Wie lassen sich solche Erprobungen auswerten?</li> </ul>  |
| Kontext-<br>Postulat           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sind die situationspezifischen Gegebenheiten sowohl der raumbundenen Ressourcen als auch der adressierten Benutzer einbezogen?</li> <li>• Kann die Handlungsoption direkt auf der regionalen Ebene wirksam werden?</li> <li>• Welchen Charakter können dann einheitliche bundesweite oder gar EU-weite Vorgaben haben?</li> </ul>   |
| Legitimitäts-<br>Postulat      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ist für eine gewählte Handlungsoption eine möglichst breite Akzeptanz in der Bevölkerung gegeben?</li> <li>• Falls nein, mit welcher Vorgehensweise könnte, trotz pluraler Wertvorstellungen, eine höhere Akzeptanz erreicht werden?</li> <li>• Können Stakeholder dabei unterstützend tätig werden?</li> <li>• Kann das nur bei einigen Gruppen gelingen?</li> <li>• Welche Konsequenzen wären zu ziehen, falls diese Art von Legitimität verfehlt würde?</li> <li>• Müsste eine andere Handlungsoption gewählt werden?</li> </ul>   |
| Verhandlungs-<br>Postulat      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welche Kommunikationsformen werden von der öffentlichen Verwaltung bzw. von den privatisierten Infrastrukturanbietern praktiziert?</li> <li>• Sind sie überhaupt darauf angelegt, den Beteiligten ein breiteres Verständnis der Problemsituation und der in Betracht kommenden Lösungswege zu ermöglichen?</li> <li>• Wie könnte eine geeignete und verbindliche Kommunikation mit relevanten Stakeholdern geführt werden?</li> <li>• Und in welcher Weise können Benutzergruppen bzw. Mitglieder an Verhandlungen mitwirken?</li> <li>• Liegen hierfür eine entsprechende Vertrauensbasis und ein geeignetes Anreizsystem vor?</li> </ul>  |
| Nachhaltigkeits-<br>Postulat   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie lässt sich bei den vorgeschlagenen Problemlösungen bzw. Handlungsoptionen sicherstellen, dass die belastenden Wirkungen nicht überwiegend in die Zukunft verlagert werden?</li> <li>• Wie können demnach nachhaltig wirksame Handlungsalternativen vorangebracht und bewertet werden?</li> <li>• Wie lassen sie sich durchsetzen, etwa über das Legitimitäts- und das Verhandlungs-Postulat?</li> <li>• Mithilfe welcher Stellschrauben kann wissenschaftliches Wissen zur Praxis nachhaltigerer Problemlösungen beitragen?</li> <li>• Wie ist ggf. zu entscheiden, falls nicht nachhaltige Wirkungen entsprechend der aktuellen Interessenlage der Akteure und Bürger als unvermeidlich angesehen werden?</li> </ul> |

Je nach konkreter Handlungssituation sind derartige Kriterien zu erweitern bzw. noch mehr zu operationalisieren. Das Aushandeln der so praktizierten Prinzipien ermöglicht immer auch, unter den Beteiligten – unter Beachtung unterschiedlicher Interessen – den größtmöglichen Grad an erreichbarer Konsensbildung festzustellen.

### **Stärkung der interdisziplinären Forschung und des Transfers**

Wie am Beispiel der Fokusregion Berlin-Brandenburg dargestellt, münden der Umweltwandel, der Wandel von Landnutzung und Agrarmärkten sowie sozial- und raumstrukturelle Veränderungen in spezifische Herausforderungen. Aber auch auf globaler Ebene stellen Klimawandel, demographischer Wandel und globalisierte Warenströme die nachhaltige Nutzung der verfügbaren Ressourcen vor große Herausforderungen. Die Konflikte und Probleme bei der Verfügbarkeit, Qualität und Bewirtschaftung der Ressource Wasser wurden zu globalen Themen, die weit über bestehende administrative Grenzen hinausgehen und nur in internationaler Zusammenarbeit bewältigt werden können. Dennoch weisen die globalen Fragen jeweils sehr spezifische lokale und regionale Ausprägungen der Handlungsbedarfe auf. Darüber hinaus zeigen die Erfahrungen aus vielen Ländern, dass Fragen der Wasserbewirtschaftung nicht von einer Wissenschaftsdisziplin allein gelöst werden können. Vielmehr muss das Wissen unterschiedlicher Disziplinen integriert werden. Daher liegt es nahe, in einem nächsten Schritt die Fragestellungen und Ergebnisse der IAG *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung* aufzugreifen und in einem internationalen Kontext zu erörtern. Aufbauend auf den Ergebnissen der IAG für die Fokusregion Berlin-Brandenburg wäre es aufschlussreich, die Thematik der Entwicklung von Wasserressourcen sowie deren Nutzung und politische Steuerung für ausgewählte europäische Regionen zu betrachten. In diesem Kontext wären die folgenden Aspekte zu behandeln:

- Überprüfung der Übertragbarkeit der für die Fokusregion Berlin-Brandenburg entwickelten Handlungsorientierungen (Kapitel I, II und III) für den Umgang mit den Folgen des globalen Wandels auf andere europäische Regionen. Hierzu bieten sich sowohl vermeintlich ähnliche als auch stark kontrastierende Regionen an.
- Nutzung der Handlungsorientierungen der IAG als Diskussionsgrundlage zur Identifizierung von politischen Handlungsmöglichkeiten auf der europäischen Ebene. Die Betrachtung der unterschiedlichen Problemlagen trägt dazu bei, zu erkennen, welche Herausforderung auf welcher politischen Handlungsebene angegangen werden sollte. In diesem Zusammenhang wäre es interessant, das Subsidiaritätsprinzip bzw. dessen Umsetzung weiterführend zu prüfen und konkrete Vorschläge für mögliche Instrumentarien abzuleiten.
- Die für die Fokusregion Berlin-Brandenburg identifizierten übergeordneten Herausforderungen sollten hinsichtlich ihrer internationalen Bedeutung überprüft und in ihrer jeweiligen regionalen Relevanz bewertet werden.
- Die genannten Brückenprinzipien könnten beispielhaft in verschiedenen Regionen zur Bewertung von Lösungsvorschlägen und zur Formulierung von Handlungsoptionen angewandt und auf ihre Allgemeingültigkeit hin überprüft werden.

- Ein zusätzlicher Mehrwert aus der Internationalisierung der Thematik würde aus einer Verbesserung der Vernetzung von bestehenden Initiativen und Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben auf Regional-, Landes-, Bundes- und EU-Ebene resultieren. Gerade auch mit Blick auf die Auswertung und Bereitstellung bestehender Daten wäre dies wünschenswert.

Die künftige Entwicklung und Nutzung von Wasserressourcen unter sich ändernden Rahmenbedingungen stellt, wie die vorangegangenen Ausführungen anschaulich belegt, eine Art „Brennglas“ dar, in dem sich die regionalen Auswirkungen des globalen Wandels beobachten lassen. Es wurde deutlich, dass sowohl eine stärkere interdisziplinäre Zusammenarbeit als auch die Fähigkeit, unter Bedingungen von Unsicherheit und Nichtwissen Entscheidungen treffen zu können, für die erfolgreiche Bewältigung der Herausforderungen unverzichtbar sind. Diese Erfordernisse sowie die zuvor genannten übergeordneten Herausforderungen und Brückenprinzipien legen nahe, das Thema der Wasserressourcen zukünftig stärker im Rahmen des Komplexes „Wissenschaft und Entscheidungsprozesse“ zu diskutieren. Dies schließt sowohl den Bereich der Generierung von neuem Wissen, dem die inhärenten Unsicherheiten inbegriffen sind, wie auch den Bereich verschiedener Entscheidungsprozesse, die von den spezifischen Akteurskonstellationen und der räumlichen und zeitlichen Wirkungsebene abhängen, ein. An diesem Anspruch müssen sich zukünftige wissenschaftliche wie politische Anstrengungen messen lassen.

## Literatur

- BMBF (2009): INKA BB. Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Region Brandenburg Berlin. Fact Sheet (Onlinepublikation). [http://www.klimzug.de/\\_media/INKA\\_druck.pdf](http://www.klimzug.de/_media/INKA_druck.pdf) (29.03.2011). Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- Calheiros, D., Seidl, A. & Ferreira, C. (2000): Participatory research methods in environmental science: local and scientific knowledge of a limnological phenomenon in the Pantanal wetland of Brazil. *Journal of Applied Ecology* 37 (4), 684–696.
- Ehleringer, J. R., Field, C. B. & Roy, J. (Hrsg.) (1993): *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*. San Diego: Academic Press.
- Fritz, T. (2009): *Peak Soil – Die globale Jagd nach Land*. Berlin: FDCL-Verlag.
- Haaren, C. v., Friese, K.-I., Hachmann, R., Meiforth, J., Neumann, A., Oppermann, B., Redslob, M., Tiedtke, S., Warren-Kretzschmar, B. & Wolter, F.-E. (2005): *Interaktiver Landschaftsplan Königslutter am Elm. Ergebnisse aus dem E+E-Vorhaben Interaktiver Landschaftsplan Königslutter am Elm (Vol. 24, Biologische Vielfalt)*. Bonn: Landwirtschaftsverlag.
- Hallegraeve, S. (2009): Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change* 19 (2), 240–247.
- IGC (2011): *Grain Market Report. GMR No. 409* (Onlinepublikation). <http://www.igc.int/en/downloads/gmrsummary/gmrsumme.pdf> (29.03.2011). London: International Grains Council (IGC).
- Joss, S. & Durant, J. (Hrsg.) (1995): *Public participation in science: the role of consensus conferences in Europe*. London: Science Museum.
- Keim, K.-D. K. (2009): *Spacing-Konzepte und Brückenprinzipien zur Formulierung von Handlungsvorschlägen. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 1*. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Kirchner-Heßler, R., Konold, W. & Gerber, A. (Hrsg.) (2007): *Nachhaltige Landnutzung durch Kooperation von Wissenschaft und Praxis. Kulturlandschaft, Bd. 1*. München: oekom.

- Medd, W. & Marvin, S. (2005): From the politics of urgency to the governance of preparedness: a research agenda on urban vulnerability. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 13 (2), 44–49.
- Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J. M., Noda, A., Raper, S. C. B., Watterson, I. G., Weaver, A. J. & Zhao, Z.-C. (2007): Global climate projections. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt et al. (Hrsg.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Pliening, T., Bens, O. & Hüttl, R. F. (2009): Biomassenutzung aus Land- und Forstwirtschaft. In: H.-P. Beck, J. Buddenberg, E. Meller & C. Salander (Hrsg.), *Handbuch Energiemanagement*. 28. Erg. Lfg. 05/09. Heidelberg: C.F. Müller Verlag, 1–24.
- Pliening, T., Thiel, A., Bens, O. & Hüttl, R. F. (2008): Bioenergy clusters in Austria and Germany: From public goals to private action. In: T. Sikor (Hrsg.), *Public and Private in Natural Resource Governance: A False Dichotomy?* London: Earthscan, 149–166.
- Renn, O., Schweizer, P.-J., Deyer, M. & Klinke, A. (2007): *Risiko. Über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit*. München: oekom.
- Rittel, H. W. J. (1992): *Planen, Entwerfen, Design. Ausgewählte Schriften zu Theorie und Methodik. Facility Management Nr. 5*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Rohmann, E. & Bierhoff, H.-W. (2010): *Wahrnehmungen, Einstellungs- und Verhaltensänderungen in Bezug auf Global Change-Prozesse. Eine Analyse aus sozialpsychologischer Sicht. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 6*. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Rosswall, T., Woodmansee, R. G. & Risser, P. G. (Hrsg.) (1988): *Scales and Global Change: Spatial and Temporal Variability in Biospheric and Geospheric Processes. Scope 35*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Schelle, H., Ottmann, R. & Pfeiffer, A. (2008): *ProjektManager*. Nürnberg: GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement.
- Swyngedouw, E. (1997): Neither global nor local: “Glocalization” and the politics of scale. In: K. R. Cox (Hrsg.), *Spaces of Globalization: Reasserting the Power of the Local*. New York: Guilford Press, 137–166.
- Swyngedouw, E. (2010): *Place, Nature and the Question of Scale: Interrogating the Production of Nature. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier 5*. Berlin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.
- Walkenhorst, O. & Stock, M. (2009): *Regionale Klimaszenarien für Deutschland. Eine Leseanleitung*. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL).
- Wissen, M., Röttger, B. & Heeg, S. (Hrsg.) (2008): *Politics of Scale. Räume der Globalisierung und Perspektiven emanzipatorischer Politik*. Münster: Westfälisches Dampfboot.
- WWAP (2003): *Water for People, Water for Life: The United Nations World Water Development Report*. New York: World Water Assessment Programme WWAP (United Nations).
- Zimmermann, L. (2007): Regionale Klima-Szenarien: kein „Spiel ohne Grenzen“! *LWF aktuell* 60, 11–13.

---

Sonja Germer (✉)  
 Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften  
 germer@bbaw.de

Oliver Bens  
 Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)

Rolf Emmermann

Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)

Reinhard F. Hüttl

Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)

Karl-Dieter Keim

Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS), Erkner, und Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Matthias Naumann

Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS), Erkner

# Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Die landschaftliche Gliederung Brandenburgs mit Eisrandlagen
- Abbildung 2: Art der Landnutzungen in Berlin-Brandenburg
- Abbildung 3: Anteil des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlichen Nutzfläche
- Abbildung 4: Anschlussgrad an die öffentliche Abwasserentsorgung in Brandenburger Landkreisen 2009
- Abbildung 5: Die Temperaturentwicklung für *Berlin & Dahlem, H & C* und *Potsdam*
- Abbildung 6: Die Häufigkeitsverteilung der mittleren Jahrestemperatur für *Berlin & Dahlem*
- Abbildung 7: Die Anzahl der Tage im Jahr mit Temperaturen unter 0 °C (Frosttage) für *Berlin & Dahlem*
- Abbildung 8: Die Anzahl der Tage im Jahr mit Temperaturen über 25 °C (Sommer-tage) für *Berlin & Dahlem*
- Abbildung 9: Der Niederschlag von 1848 bis 2008 in mm im Jahr sowie der 161-jäh-rige Mittelwert für *Berlin & Dahlem*
- Abbildung 10: Räumliche Auflösung der regionalen Klimamodelle CLM und REMO für Brandenburg
- Abbildung 11: Systematische Unterschiede zwischen Beobachtungen und Simula-tionen für den mittleren Jahrgang und den Jahresmittelwert der Periode 1960–2000 an der Station Lindenberg des Deutschen Wetterdienstes vor und nach der systematischen Korrektur
- Abbildung 12: Wechselbeziehungen von Faktoren, die die Verdunstung beeinflus-sen
- Abbildung 13: Abfolge von Modellen und Simulationsergebnissen von der globalen Ebene bis zu regionalen oder lokalen Auswirkungen
- Abbildung 14: Relative Änderungen zehnjähriger Mittelwerte der Evapotranspira-tion, Transpiration, Interzeption und Bodenevaporation in der Uckermark
- Abbildung 15: Entwicklung der Luft- und Wassertemperaturen für den Stechlinsee seit 1960
- Abbildung 16: Wasser(-wirtschaftliche) Bilanz Berlin-Brandenburg
- Abbildung 17: Historische Kulturlandschaften spiegeln eine differenzierte Nutzung und die Agrarstruktur wider
- Abbildung 18: Neuartiges Agroforstsystem mit Walnuss und Getreide in Frankreich

- Abbildung 19: Steinbrüche sind gleichermaßen „Landschaftswunden“ und reichhaltige Extrembiotope
- Abbildung 20: Wege mit Böschungen und Gehölzsäumen sind nicht nur Verkehrsverbindungen i. w. S., sondern dienen auch der Orientierung und gliedern die Landschaft in spezifischer Weise
- Abbildung 21: Geologischer Schnitt zwischen Seelow und Küstrin (Oderbruch)
- Abbildung 22: Wasserbilanz von Niedermooren und Seen im sandigen pleistozänen Tiefland
- Abbildung 23: Grabennetz mit Staueinrichtungen im Niedermoorgebiet Oberes Rhinluch
- Abbildung 24: Hydroisohypsen im Oderbruch
- Abbildung 25: Übersicht zum KONZEPT ODERBRUCH 2010
- Abbildung 26: Erzeugung und Verbrauch der wichtigsten Nahrungsmittel in Berlin-Brandenburg

## Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Anzahl der Realisierungen der einzelnen Zukunftsprojektionen
- Tabelle 2: Spannweite der Temperaturveränderung zur Mitte und gegen Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zur Periode 1961–1990
- Tabelle 3: Spannweite der prozentualen Änderung des Niederschlags zur Mitte und gegen Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zur Periode 1961–1990
- Tabelle 4: Simulierte Abflusshöhen für verschiedene Landnutzungstypen in Brandenburg und Berlin unter aktuellen klimatischen Verhältnissen
- Tabelle 5: Wasserwirtschaftliche Summenbilanz für die Spree zwischen den Pegeln Lieske und Leibsch
- Tabelle 6: Einzugsgebietsflächen und Abflussbilanzhöhen für ausgewählte Flusseinzugsgebiete Deutschlands für die Zeitreihe 1961–1990 sowie für die politischen Einheiten Deutschland und die Fokusregion Berlin-Brandenburg
- Tabelle 7: Abflussbildung in den deutschen Bundesländern für die Zeitreihe 1961–1990
- Tabelle 8: Überblick über Maßnahmen im gesamten System landwirtschaftlicher Betrieb zur Steigerung der Wassereffizienz und Verminderung des benötigten Prozesswassers innerhalb der Teilbereiche Boden, Pflanzen und Tierhaltung
- Tabelle 9: Vergleich von Kennzahlen landwirtschaftlicher Hauptidebetriebe im Durchschnitt aller Betriebsformen und Größenklassen
- Tabelle 10: Kriterien zur Bewertung von Handlungsoptionen auf der Basis von Brückenprinzipien

## Verzeichnis der Autorinnen und Autoren

### *Eva Barlösius*

Prof. Dr., Professorin für Makrosoziologie und Sozialstruktur an der Leibniz Universität Hannover.

### *Oliver Bens*

Dr., Dipl.-Geograph, Leiter des Wissenschaftlichen Vorstandsbereichs am Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Mitglied des Vorstands der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin (GfE), Sprecher der Kommission Bodengeographie der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG), Mitglied des Beirats der Obersten Naturschutzbehörde Brandenburg.

### *Inge Broer*

Prof. Dr., Professorin für Agrobiotechnologie und Begleitforschung zur Bio- und Gentechnologie an der Universität Rostock.

### *Reiner Brunsch*

Prof. Dr. habil., Wissenschaftlicher Direktor des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) und Honorarprofessor an der Humboldt-Universität zu Berlin.

### *Ulrich Cubasch*

Prof. Dr., Professor für Wechselwirkungen im Klimasystem der Erde am Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin.

### *Katrin Drastig*

Dr., Dipl.-Geologin, Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Projektleiterin der Arbeitsgruppe „AgroHyd“ am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe.

### *Rolf Emmermann*

Prof. Dr. Dr. h. c., Gründungsdirektor und von 1992 bis 2007 Vorstandsvorsitzender des Helmholtz-Zentrums Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Gründungsmitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech), stellvertretender Sprecher der interdisziplinären Arbeitsgruppe *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung*.

*Sonja Germer*

Dr., Dipl.-Geographin, Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Koordination der interdisziplinären Arbeitsgruppe *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung* an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

*Uwe Grünewald*

Prof. Dr., Professor für Hydrologie und Wasserwirtschaft an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Mitgliedschaft u. a. im Wissenschaftlichen und Operativen Beirat des Deutschen Komitees für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV), des Wissenschaftlichen Beirates des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie des DFG-Fachkollegiums „Wasserforschung“.

*Konrad Hagedorn*

Prof. Dr. Dr. h. c., Professor und Leiter des Fachgebiets Ressourcenökonomie an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät sowie Geschäftsführender Direktor des Instituts für Genossenschaftswesen an der Humboldt-Universität zu Berlin.

*Jost Heintzenberg*

Prof. Dr., Professor em. für Physik der Atmosphäre an der Universität Leipzig, Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig, Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Sächsischen Akademie der Wissenschaften.

*Michael Hupfer*

Dr., Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Leiter der Forschergruppe „Biogeochemie“ am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin, Sprecher des IGB-Programmbereichs Aquatische Grenzonen.

*Klaus Höppner*

Prof. Dr., Leiter des Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde (LFE) im Landesbetrieb Forst Brandenburg, Vizepräsident des Deutschen Forstvereins, Vorsitzender des Brandenburgischen Forstvereins und Honorarprofessor für Forstpolitik an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

*Reinhard F. Hüttl*

Prof. Dr. Dr. h. c., Wissenschaftlicher Vorstand und Sprecher des Vorstands am Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech), Sprecher der interdisziplinären Arbeitsgruppe *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung*, Professor für Bodenschutz und Rekultivierung an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus.

*Christopher Kadow*

Diplomand am Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Sektion Erdsystem-Modellierung (Projekt NATHAN).

*Ralf Kätzel*

Dr. habil., Dipl.-Biologe, Leiter des Fachbereiches Waldentwicklung/Monitoring im Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) des Landesbetriebes Forst Brandenburg.

*Karl-Dieter Keim*

Prof. Dr., 1992–2004 Direktor des Leibniz-Instituts für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS) in Erkner sowie Professor em. für Stadt- und Regionalentwicklung an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus.

*Hans Kögl*

Prof. Dr., Professor für Landwirtschaftliche Betriebslehre und Management an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock.

*Werner Konold*

Prof. Dr., Direktor des Instituts für Landespflege an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und Sprecher des Deutschen Rates für Landespflege.

*Barbara Köstner*

PD Dr., Diplom-Biologin, Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur für Meteorologie der Technischen Universität Dresden, seit 2006 Leitung des BMBF-Forschungsverbundes LandCaRe (Land, Climate and Resources) 2020.

*Matthias Kuhnert*

Dr., Dipl.-Geoökologe, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institute of Biological and Environmental Sciences der University of Aberdeen (Scotland).

*Gunnar Lischeid*

Prof. Dr., Leiter des Instituts für Landschaftswasserhaushalt am Leibniz-Zentrum für Agrarlandforschung (ZALF) e.V., Müncheberg, und Professor für Landschaftswasserhaushalt an der Universität Potsdam.

*Georg Meran*

Prof. Dr., Professor für Umweltökonomie und Wirtschaftspolitik an der Technischen Universität Berlin und Dean of Graduate Studies am Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW).

*Timothy Moss*

Dr., M. Phil., Stellvertretender Direktor des Leibniz-Instituts für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS) in Erkner und Leiter der Forschungsabteilung „Institutionenwandel und regionale Gemeinschaftsgüter“.

*Matthias Naumann*

Dr., Dipl.-Geograph, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS) in Erkner.

*Claudia Neu*

Prof. Dr., Professorin für Allgemeine Soziologie an der Hochschule Niederrhein, Mönchengladbach, Arbeitsschwerpunkte: Land- und Agrarsoziologie, Demographischer Wandel, Zivilgesellschaft sowie Daseinsvorsorge in peripheren ländlichen Räumen.

*Brigitte Nixdorf*

Prof. Dr., Lehrstuhl für Gewässerschutz an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, seit 2007 Mitglied im Beirat für Nachhaltige Entwicklung und Ressourcenschutz des Landes Brandenburg.

*Annette Prochnow*

Prof. Dr., Leiterin der Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) und des Fachgebietes Nutzungsstrategien für Bioressourcen der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.

*Alfred Pühler*

Prof. Dr., Senior Research Professor für Genomforschung Industrieller Mikroorganismen am Centrum für Biotechnologie der Universität Bielefeld, Prof. em. für Genetik an der Universität Bielefeld, Mitglied der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften, der Deutschen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech).

*Joachim Quast*

Prof. Dr., von 1992 bis 2008 Leiter des Instituts für Landschaftswasserhaushalt am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg, seit 2003 apl. Professor an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.

*Mihaiela Alexandrina Rus*

Dr., Dipl.-Agraringenieurin und M. Sc. in Nutztierwissenschaften und Agrarmanagement, Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.

*Eberhard Schaller*

Prof. Dr., Professor für Umweltmeteorologie an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus.

*Herbert Sukopp*

Prof. em. Dr. Dr. h. c., Professor em. für Ökosystemforschung und Vegetationskunde im Institut für Ökologie der TU Berlin, Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

*Klement Tockner*

Prof. Dr., Direktor des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin und Professor für Aquatische Ökologie am Institut für Biologie der Freien Universität Berlin, Herausgeber der Zeitschrift „Aquatic Sciences“.

# **Verzeichnis der Mitglieder** **der interdisziplinären Arbeitsgruppe** ***Globaler Wandel – Regionale Entwicklung***

## **Mitglieder**

- Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungs-Zentrum und Brandenburgische Technische Universität Cottbus (Sprecher)
- Prof. Dr. Rolf Emmermann, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (Sprecher)
- Prof. Dr. Eva Barlösius, Leibniz Universität Hannover
- Dr. Oliver Bens, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum
- Prof. Dr. Inge Broer, Universität Rostock
- Prof. Dr. Reiner Brunsch, Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) und Humboldt-Universität zu Berlin
- Prof. Dr. Ulrich Cubasch, Freie Universität Berlin
- Prof. Dr. Carl Friedrich Gethmann, Universität Duisburg-Essen
- Prof. Dr. Gerhard Glatzel, Universität für Bodenkultur Wien
- Prof. Dr. Konrad Hagedorn, Humboldt-Universität zu Berlin
- Prof. Dr. Jost Heintzenberg, Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. (IfT), Leipzig
- Prof. Dr. Karl-Dieter Keim, Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS), Erkner, und Brandenburgische Technische Universität Cottbus
- Prof. Dr. Jens Kersten, Ludwig-Maximilians-Universität München
- Prof. Dr. Werner Konold, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- PD Dr. Barbara Köstner, Technische Universität Dresden
- Prof. Dr. Georg Meran, Technische Universität Berlin und Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin
- Dr. Timothy Moss, Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS), Erkner
- Prof. Dr. Bernhard Müller, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Dresden
- Prof. Dr. Claudia Neu, Hochschule Niederrhein
- Prof. Dr. Alfred Pühler, Universität Bielefeld
- Prof. Dr. Eberhard Schaller, Brandenburgische Technische Universität Cottbus
- Prof. Dr. Helmar Schubert, Universität Karlsruhe
- Prof. Dr. Herbert Sukopp, Technische Universität Berlin

Prof. Dr. Klement Tockner, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) und Freie Universität Berlin

### **Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter**

Dr. Sonja Germer, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

Kathrin Trommler, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

Dr. Ruth Bittner (1. 3. 2009–31. 12. 2010), jetzt Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Berlin

Dr. Sandra Huning (1. 1. 2008–30. 9. 2009), jetzt Technische Universität Dortmund

Dr. Matthias Naumann (1. 11. 2009–28. 2. 2011), jetzt Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung e.V. (IRS), Erkner

# **Verzeichnis der Diskussionspapiere der interdisziplinären Arbeitsgruppe**

## *Globaler Wandel – Regionale Entwicklung*

- Diskussionspapier 1 Karl-Dieter Keim: Spacing-Konzepte und Brückenprinzipien zur Formulierung von Handlungsvorschlägen
- Diskussionspapier 2 Gunnar Lischeid: Landschaftswasserhaushalt in der Region Berlin-Brandenburg
- Diskussionspapier 3 Katrin Drastig, Annette Prochnow & Reiner Brunsch: Wassermanagement in der Landwirtschaft
- Diskussionspapier 4 Timothy Moss & Frank Huesker: Wasserinfrastrukturen als Gemeinwohlträger zwischen globalem Wandel und regionaler Entwicklung – institutionelle Er widerungen in Berlin-Brandenburg
- Diskussionspapier 5 Erik Swyngedouw: Place, Nature and the Question of Scale: Interrogating the Production of Nature
- Diskussionspapier 6 Elke Rohmann & Hans-Werner Bierhoff: Wahrnehmungen, Einstellungs- und Verhaltensänderungen in Bezug auf Global Change-Prozesse. Eine Analyse aus sozialpsychologischer Sicht
- Diskussionspapier 7 Uwe Grünwald: Wasserbilanzen der Region Berlin-Brandenburg
- Diskussionspapier 8 ARL-Arbeitskreis Klimawandel und Raumplanung: Planungs- und Steuerungsinstrumente zum Umgang mit dem Klimawandel
- Diskussionspapier 9 Ines Langer, Thomas Schartner, Heiner Billing & Ulrich Cubasch: Vegetationsänderung in Berlin-Brandenburg. Ein Vergleich von Satellitendaten und einem regionalen Klimamodell
- Diskussionspapier 10 Hans Kögl: Potenziale der Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten aus Brandenburg in Berlin
- Diskussionspapier 11 Michael Hupfer & Brigitte Nixdorf: Zustand und Entwicklung von Seen in Berlin und Brandenburg
- Diskussionspapier 12 Franziska Schaft, Christoph Sahrbacher & Alfons Balmann: Möglichkeiten und Restriktionen von ostdeutschen Agrarbetrieben

Der aktuelle Stand der Reihe ist im Internet unter <http://globalerwandel.bbaw.de> einsehbar. Alle Texte sind frei verfügbar.