

# PIK Report

---

No. 113

## KLIMAWANDEL UND KULTURLANDSCHAFT BERLIN

H. Lotze-Campen, L. Claussen, A. Dosch, S. Noleppa,  
J. Rock, J. Schuler, G. Uckert



---

POTSDAM INSTITUTE  
FOR  
CLIMATE IMPACT RESEARCH (PIK)

---

Der vorliegende Bericht entstand im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, der Berliner Stadtgüter GmbH, der Berliner Forsten und der Gemeinsamen Landesplanung Berlin-Brandenburg und ist auf der Internetseite der Senatsverwaltung verfügbar.  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/klimawandel>

Autoren:

Dr. Hermann Lotze-Campen (Ansprechpartner)

Dr. Joachim Rock

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.

PF 60 12 03, D-14412 Potsdam

Tel.: +49-331-288-2699

Fax: +49-331-288-2640

E-mail: [lotze-campen@pik-potsdam.de](mailto:lotze-campen@pik-potsdam.de)

Dr. Steffen Noleppa

Lars Claussen

agripol - network for policy advice GbR, Berlin

Axel Dosch

stadt.land.freunde. GbR, Berlin

Dr. Götz Uckert

Dr. Johannes Schuler

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF)

Herausgeber:

Prof. Dr. F.-W. Gerstengarbe

Technische Ausführung:

U. Werner

---

POTSDAM-INSTITUT  
FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG  
Telegrafenberg  
Postfach 60 12 03, 14412 Potsdam  
GERMANY

Tel.: +49 (331) 288-2500

Fax: +49 (331) 288-2600

E-mail-Adresse: [pik@pik-potsdam.de](mailto:pik@pik-potsdam.de)

---

## **Abstract**

Climate change is progressing faster and will have larger impacts than previously expected. Therefore, it is necessary not only to implement comprehensive emission mitigation strategies, but also to develop appropriate measures for adaptation to those climate change impacts, which are already unavoidable. Climate change will have a multitude of impacts on cultural (i.e. man-made) landscapes. Production conditions for agriculture and forestry as well as regional water balances and ecosystems will change. Certain emission mitigation strategies, like expansion of renewable energy production (especially bioenergy), will lead to changes in production structures and landscape appearance. Managing and framing these profound changes requires a broad societal discourse among all relevant stakeholder groups.

This report was commissioned by the Senate Department for Urban Development Berlin, the Berlin Agricultural Holding (Berliner Stadtgüter GmbH), the Berlin Forestry Administration (Berliner Forsten), and the Joint Planning Commission (Gemeinsame Landesplanung) Berlin-Brandenburg. The report provides an improved information base for political decisionmaking. The focus is on land-use-related changes. Based on expected direct climate impacts on the cultural landscape Berlin, adaptation options are explored for various sectors. Landscape implications of increased biomass production for renewable energy purposes are analyzed. The report summarizes existing studies, research results and scenarios, and complements these with own model calculations for agriculture and forestry. Together with the stakeholders Berliner Stadtgüter GmbH and Berliner Forsten decision support related to climate change adaptation and long-term strategies has been developed. All results and recommendations are exclusively related to the land areas owned by the federal state of Berlin.

The project was carried out by the Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), in close cooperation with the Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) Müncheberg, and the consultancies agripol GbR and stadt.land.freunde.



# Klimawandel und Kulturlandschaft Berlin

Bericht im Auftrag:

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Abteilung I,  
Gemeinsame Landesplanung Berlin-Brandenburg,  
Berliner Forsten,  
Berliner Stadtgüter GmbH



agripol  
network for policy advice



Autoren:

Hermann Lotze-Campen, Lars Claussen, Axel Dosch, Steffen Noleppa,  
Joachim Rock, Johannes Schuler, Götz Uckert

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Zusammenfassung.....	8
1 Einleitung.....	15
2 Regionale Klimamodellierung.....	16
2.1 Stand der Forschung.....	16
2.2 Szenarienergebnisse.....	16
2.3 Extremereignisse.....	19
3 Makroökonomische und agrarpolitische Rahmenbedingungen.....	23
3.1 Auswirkungen wichtiger globaler Trends auf die Nachfrage.....	23
3.2 Auswirkungen wichtiger globaler Trends auf das Angebot.....	25
3.3 Agrarpolitische Optionen und Szenarien.....	28
4 Auswirkungen des Klimawandels auf den Wassersektor.....	30
4.1 Klimatologische Triebkräfte.....	30
4.2 Landnutzungsänderungen als Triebkraft.....	32
4.3 Auswirkungen auf Wasserverfügbarkeit, Wasserbedarf und Gewässergüte.....	34
4.4 Mögliche Anpassungsstrategien.....	40
5 Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft.....	43
5.1 Einleitung.....	43
5.2 Ausgewählte Klimawirkungen in der Landwirtschaft.....	44
5.3 Modellergebnisse für einen Betrieb der Berliner Stadtgüter.....	53
5.4 Mögliche Anpassungsstrategien.....	65
6 Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldwirtschaft.....	73
6.1 Einleitung.....	73
6.2 Ausgewählte Klimawirkungen im Wald.....	73
6.3 Modellergebnisse für die Berliner Forsten.....	78
6.4 Mögliche Anpassungsstrategien.....	86

7	Naturschutz und Landschaftsplanung .....	92
7.1	Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Landschaft .....	92
7.2	Anpassungsoptionen für Naturschutzkonzepte und Landschaftsplanung .....	97
8	Landschaftsrelevante Auswirkungen einer verstärkten Bioenergie-Produktion .....	106
8.1	Potenzial für den Bioenergieanbau in Berlin-Brandenburg .....	109
8.2	Kurzumtriebsplantagen als neuer Produktionszweig .....	114
8.3	Modellrechnungen zur Biogasproduktion auf einem Betrieb der Berliner Stadtgüter .....	124
9	Synthese und Implikationen für die Flächennutzungs- und Stadtentwicklungspolitik .....	133
10	Literatur .....	141

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 2.1</b> Jährliche Durchschnittstemperatur der Monate April, Mai, Juni, Juli, des Sommerhalbjahres (April-September), des Winterhalbjahres (Oktober-März) sowie des gesamten Jahres für den Zeitraum 2016-2025 sowie deren Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum 1951-2006 .....	20
<b>Abbildung 2.2</b> Jährliche Durchschnittstemperatur der Monate April, Mai, Juni, Juli, des Sommerhalbjahres (April-September), des Winterhalbjahres (Oktober-März) sowie des gesamten Jahres für den Zeitraum 2046-2055 sowie deren Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum 1951-2006 .....	17
<b>Abbildung 2.3</b> Durchschnittliche Veränderung der Lufttemperatur in einem Ausschnitt der Region Berlin-Brandenburg für das Winterhalbjahr (Oktober-März) der Periode 2046-2055 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1951-2006.....	17
<b>Abbildung 2.4</b> Niederschlagssumme in mm/Jahr der Monate April, Mai, Juni, Juli, des Sommerhalbjahres (April-September), des Winterhalbjahres (Oktober-März) und des gesamten Jahres für den Zeitraum 2016-2025 sowie deren Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum 1951-2006 .....	18
<b>Abbildung 2.5</b> Niederschlagssumme in mm/Jahr der Monate April, Mai, Juni, Juli, des Sommerhalbjahres (April-September), des Winterhalbjahres (Oktober-März) und des gesamten Jahres für den Zeitraum 2046-2055 sowie deren Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum 1951-2006 .....	18
<b>Abbildung 2.6</b> Durchschnittliche Veränderung der Niederschlagssummen in einem Ausschnitt der Region Berlin-Brandenburg für das Sommerhalbjahr (April-September) der Periode 2046-2055 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1951-2006.....	19
<b>Abbildung 2.7</b> Zusammenhang zwischen der Veränderung des Mittelwertes der Temperatur und der Zunahme von Extremereignissen .....	20
<b>Abbildung 2.8</b> Durchschnittliche Anzahl der Eistage, Sommertage und Hitzetage pro Jahr für den Zeitraum 1981-1990 und 2041-2050 an der Station Schönefeld. ....	21
<b>Abbildung 3.1</b> Weltgetreidenachfrage 1969, 1997 und 2025 .....	24
<b>Abbildung 3.2.</b> Globale Bioenergieproduktion, 2000-2015.....	25
<b>Abbildung 4.1</b> Szenario der Veränderung der klimatischen Wasserbilanz in der Periode 2046-2055 gegenüber der Referenzperiode 1951-2006 für einen Ausschnitt der Region Berlin-Brandenburg .....	31
<b>Abbildung 4.2</b> Veränderung der durchschnittlichen Abflüsse 2044-2053 gegenüber 2004-2013 .....	32
<b>Abbildung 4.3</b> Veränderung der jährlichen Summe der Grundwasserneubildung durch Aufforstung von landwirtschaftlichen Brachflächen .....	33
<b>Abbildung 4.4</b> Veränderung der jährlichen Summe der Grundwasserneubildung durch Umwandlung der Flächen von Waldkiefer zu Stieleiche (Szenario ‚Forstmanagement‘) für die gesamte Landesfläche Brandenburgs.....	34

<b>Abbildung 4.5</b> Wahrscheinlichkeit des Mindestdurchflusses für ausgewählte Pegel und Wasserverfügbarkeit für ausgewählte Wasserwerke unter verschiedenen Szenarien .....	36
<b>Abbildung 4.7</b> Entwicklung des Wasserverbrauchs der Berliner Haushalte seit 1991 und Prognose bis 2040 .....	37
<b>Abbildung 4.8</b> Entwicklung der Schichtungsdauer (Tage) des Müggelsees über den STAR-Szenariozeitraum .....	39
<b>Abbildung 4.9</b> Entwicklung der Gewässergüte für ausgewählte Gebiete unter ausgewählten Szenarien .....	40
<b>Abbildung 5.1</b> Berechnung der Ertragsveränderungen für Winterweizen im Elbeeinzugsgebiet. Vergleich 1961–1990 (Referenz) zu 2021–2050 (Klimaszenario).....	46
<b>Abbildung 5.2</b> Änderung der Grundwasserneubildung in 2040-2050 im Vergleich zur Referenzsituation .....	50
<b>Abbildung 5.3</b> Entwicklung der Szenarien. ....	54
<b>Abbildung 5.4</b> Übersicht über die Auswirkungen der in 2050 in Märkisch-Oderland zu erwartenden lokalen Klimaänderung (PIK-Klimaszenarien) auf die Ertragsleistung im Vergleich zur Ertragsleistung des Klimaniveaus 2000, aufgeschlüsselt auf die hauptsächlich angebauten landwirtschaftlichen Fruchtarten .....	55
<b>Abbildung 5.5</b> Modellstruktur MODAM .....	57
<b>Abbildung 5.6</b> Flächennutzung 2008 des Beispielbetriebs.....	58
<b>Abbildung 5.7</b> Entwicklung Rahmendaten: Agrarpreise für Weizen und Ölsaaten .....	59
<b>Abbildung 5.8</b> Eingangsdaten für den Modellbetrieb .....	59
<b>Abbildung 5.9</b> Flächennutzung 2008 Beispielbetrieb Stadtgut vs. Modellierung mit dem Betriebsmodell MODAM .....	61
<b>Abbildung 5.10</b> Flächennutzung im Szenario GAP2013 bei Modellierung mit dem Betriebsmodell MODAM .....	61
<b>Abbildung 5.11</b> Anbauverhältnisse und Gesamtdeckungsbeitrag in den Szenarien.....	63
<b>Abbildung 5.12</b> Preise marktfähiger Produkte in den Szenarien .....	63
<b>Abbildung 5.13</b> Flächenverteilung im Modellbetrieb in den Szenarien Lib, Klim2050, Klim2050CO <sub>2</sub> und Nplus .....	64
<b>Abbildung 5.14</b> Schwellenpreise, bei denen sich die Lösung des Modells verändern würde .....	65
<b>Abbildung 6.1</b> Von europäischen Wäldern bereitgestellte Funktionen und Dienstleistungen (RASHID et al., 2005, S. 601). ....	73
<b>Abbildung 6.2</b> Klimabeschränkungen des Pflanzenwachstums in Europa .....	74
<b>Abbildung 6.3</b> Klimakennwerte der für die Modellierung verwendeten Datenreihen.....	80
<b>Abbildung 6.4</b> Laufender Zuwachs (IZ) für einzelne Baumarten, gemittelt über alle Wuchsgebiete.....	81

<b>Abbildung 6.5</b> Laufender Zuwachs nach Standorten und Klimarealisationen, gemittelt über alle Baumarten.....	82
<b>Abbildung 6.6</b> Versickerung nach Baumarten und Klimarealisation.....	83
<b>Abbildung 6.7</b> Versickerung nach Standorten und Klimarealisation.....	83
<b>Abbildung 6.8</b> Versickerung nach Klimarealisation, Standorten und Baumarten.....	84
<b>Abbildung 6.9</b> Niederschlag(Nds.) an den Klimastationen und Versickerung in absoluten Werten. ....	85
<b>Abbildung 8.1</b> Anteil der Bioenergie an den Erneuerbaren Energien 2007 .....	107
<b>Abbildung 8.2</b> Ist-Zustand des Flächenbedarfs für den Biomasseanbau in Brandenburg.....	110
<b>Abbildung 8.3</b> Flächenbedarf in 2010 für den Biomasseanbau in Brandenburg .....	110
<b>Abbildung 8.4</b> Flächenanteile des Silomaisanbaus bei Realisierung des Ausbauziels für Bioenergie durch Biogasanlagen bis 2010.....	112
<b>Abbildung 8.5</b> Flächenanteile des Silomaisanbaus bei Realisierung des Ausbauziels für Bioenergie durch Biogasanlagen bis 2020.....	112
<b>Abbildung 8.6</b> Bioethanolpotenzial für das Bundesland Brandenburg. Vorhandene Halmmasse minus des notwendigen Anteils zur Humusreproduktion, Tierfütterung und -streuung.....	113
<b>Abbildung 8.7</b> Anbauversuch der Berliner Stadtgüter GmbH mit Weiden und Pappeln auf ehemaligen Rieselfeldern in Großbeeren .....	115
<b>Abbildung 8.8</b> Typisches Pflanzenschema eines Agroforstsystems als Alley-Cropping.....	115
<b>Abbildung 8.9</b> Potenzial an Biomasse aus Holz in Brandenburg .....	116
<b>Abbildung 8.10</b> Maschinelle Pflanzung.....	117
<b>Abbildung 8.11</b> Mechanische Unkrautbehandlung zwischen den Reihen .....	118
<b>Abbildung 8.12</b> Vergleich von Verfahrenskosten .....	120
<b>Abbildung 8.13</b> Durchschnittliche Gewinnbeiträge des Agrarholzanbaus in € pro ha und Jahr.....	121
<b>Abbildung 8.14</b> Kosten beim Anbau von Agrarholz nach Arbeitsschritten in € pro ha und Jahr.....	121
<b>Abbildung 8.15</b> Erntetechnik Claas Jaguar mit Salix Vorsatz.....	122
<b>Abbildung 8.16</b> Vollmechanische Ernte.....	122
<b>Abbildung 8.17</b> Anbauversuch der Berliner Stadtgüter GmbH mit Weiden und Pappeln auf ehemaligen Rieselfeldern in Großbeeren .....	124
<b>Abbildung 8.18</b> Biogasbereitstellung für Strom und Benzin und deren Auswirkungen auf die Flächenanteile .....	125
<b>Abbildung 8.19</b> IST-Zustand Berechnung der Energiemenge aus Gülle bei vollständiger Nutzung .....	126

**Abbildung 8.20** Biogasanlage 1.000 kW<sub>el</sub>: Entwicklung der Flächenanteile von Silomais bei Ausdehnung der Biogasproduktion über Kofermente..... 127

**Abbildung 8.21** Aufbau des Biogasmoduls ..... 128

**Abbildung 8.22** Auswahlkriterium für angebaute Kulturen: Kennzahl „variable Kosten“ der Biogasproduktion in € je m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>..... 128

**Abbildung 8.23** Spezifizierung der für den Modellbetrieb verwendeten Biogasanlage ..... 129

**Abbildung 8.24** Anbauverhältnisse und Gesamtdeckungsbeitrag in den Szenarien..... 130

**Abbildung 8.25** Flächenverteilung im Modellbetrieb mit Biogasanlage in den Szenarien ..... 131

## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, der Berliner Stadtgüter GmbH, der Berliner Forsten und der Gemeinsamen Landesplanung Berlin-Brandenburg liefert einen Beitrag zur Verbesserung der Informations- und Entscheidungsgrundlagen für Anpassungsmaßnahmen, die zur Bewältigung und Gestaltung bereits nicht mehr zu vermeidender Klimawirkungen notwendig werden. Außerdem werden die Auswirkungen einer verstärkten Nutzung von Biomasse als erneuerbarer Energieträger auf die Landschaft abgeschätzt. Zusammen mit den Praxispartnern Berliner Stadtgüter GmbH und Berliner Forsten wurden anhand von Modellrechnungen für die Bereiche Land- und Forstwirtschaft konkrete Entscheidungshilfen zu Anpassungsmaßnahmen und der langfristigen Strategieentwicklung erarbeitet. Die Aussagen und Empfehlungen des Berichts beziehen sich dabei ausschließlich auf die betrachteten Berliner Flächen.

### Klimaänderungen

- Bis 2050 ist in Berlin-Brandenburg mit einem deutlichen Temperaturanstieg von durchschnittlich 2,5 °C zu rechnen. Im Winter steigen die Temperaturen deutlicher als im Sommer. Der Temperaturanstieg ist in den Frühlingsmonaten April und Mai am deutlichsten.
- Die durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme von ca. 540 mm unterliegt einer ausgeprägten jahreszeitlichen Verschiebung: Während die Niederschläge im Sommerhalbjahr um zum Teil mehr als 15 % zurückgehen, werden die Winterhalbjahre deutlich feuchter. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten sehr feuchter Winter ist bis zu fünf Mal höher.
- Die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen nimmt zu. Starkregenereignisse treten vermehrt im Winter auf, in denen Kälteextreme seltener werden. Die Anzahl der Frosttage kann um bis zu 50 % zurückgehen. Im Sommer hingegen nehmen die Wärmeextreme zu, es ist vermehrt mit langen Hitzeperioden, tropischen Nächten und Hitzetagen zu rechnen. Über die Zunahme von Stürmen existieren keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse. Einige Untersuchungen legen jedoch eine Verstärkung des Sturmklimas nahe.

### Trends auf den Agrarmärkten

- Die weltweite Agrarproduktion wird in den nächsten Dekaden mit dem Anstieg der globalen Nachfrage nach agrarischen Rohstoffen nur schwer Schritt halten können. Ähnliches gilt für forstwirtschaftlich relevante Märkte. Die Nachfrage wird aufgrund von Bevölkerungswachstum, veränderten Konsumgewohnheiten und Bioenergiepolitik stark ansteigen. Limitiert verfügbares Agrarland und abnehmende Produktivitätssteigerungen lassen das Angebot nicht adäquat steigen. Dies führt dazu, dass die Marktpreise sich nachhaltig über dem Niveau der letzten Jahrzehnte manifestieren werden.

- In die Agrarpolitik wird in den nächsten Jahren Bewegung in Richtung weiterer Liberalisierung und zielkonformer Instrumente – auch im Sinne einer pro-aktiven Klimapolitik – kommen. Der Freiheitsgrad für politisches wie unternehmerisches Handeln dürfte dann eher zunehmen und mehr Chancen zulassen als Restriktionen setzen. Dies setzt aber eine Intensivierung der öffentlichen wie privaten Forschungs- und Technologieförderung voraus.
- Die Entscheidungsgrundlagen und Rahmenbedingungen im Agrarsektor werden in den nächsten Jahren und Jahrzehnten komplexer werden. Neben den Veränderungen bei den klimatischen Faktoren müssen auch Veränderungen der makroökonomischen, marktseitigen und politischen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Diese können möglicherweise stärkere Anpassungen bedingen als die Klimaproblematik.

## Wasser

- Der Klimawandel hat einen direkten Einfluss auf den Wasserhaushalt. Höhere Temperaturen führen zu mehr Verdunstung, einem verringerten Abfluss und geringeren Grundwasserneubildungsraten. Es muss mit einer durchgängigen Erhöhung der Verdunstung gerechnet werden, wobei der Anstieg durch die deutlich höheren Temperaturen im Winter wesentlich stärker ausgeprägt ist als im Sommer. Der Abfluss nimmt dadurch für die Region Berlin-Brandenburg um bis zu 40 % ab. Differenzierte Modellierungen für das Berliner Stadtgebiet haben gezeigt, dass sich die Grundwasserneubildung in der Dekade 2031-2040 innerhalb einer Bandbreite von einer Verringerung um 14 % bis zu einer Zunahme um 30 % verändern kann.
- Ab 2030 ist in Trockenperioden im Sommer damit zu rechnen, dass der Zufluss des Berliner Gewässersystems zum Erliegen kommen kann. Generell wird das Erreichen oder Überschreiten der Mindestabflüsse unwahrscheinlicher, insbesondere nach dem Auslaufen des Bergbaus am Oberlauf der Spree nach 2035.
- Der Wassersektor wird auch durch die Landschaftssanierung des Tagebergbaus, die Siedlungsentwicklung und Landnutzungsänderungen beeinflusst. Für Brandenburg wurde berechnet, dass die Verdunstung bei einer Aufforstung von 10 % der Landesfläche um ca. 4 % steigen und sich somit die Grundwasserneubildungsrate um 10 % vermindern würde.
- Künftig könnte sich in Folge der Klimaänderungen hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit für Berlin ein Anpassungsbedarf des wasserwirtschaftlichen Managements bei der Flutung der Tagebaurestlöcher ergeben.
- Die Versorgungssicherheit der Berliner Bevölkerung mit Trinkwasser ist jedoch unter den geschilderten Bedingungen auch bei steigenden Einwohnerzahlen und vermehrter wirtschaftlicher Aktivität nicht gefährdet.
- Dagegen könnte sich die Wassergüteproblematik verschärfen. Ein verringerter Abfluss, längere Aufenthaltszeiten und höhere Temperaturen könnten zu verstärkter Eutrophierung der Gewässer führen. Bei geringen Fließgeschwindigkeiten nimmt zudem die Sedimentationsrate zu und verstärkt so den Sauerstoffmangel in den Fließgewässern.
- Außerdem werden die Trockenschäden an Auen und Niedermooren zunehmen. Dies kann zunehmende CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Folge haben, aber auch der Nährstoffeintrag

in das Gewässersystem kann dadurch deutlich zunehmen. Zudem verlieren diese Flächen ihre Ausgleichsfunktion für den Landschaftswasserhaushalt.

- Der Schutz und die Revitalisierung von Feuchtgebieten sind aufgrund ihrer Nährstoffhaltefähigkeit für die Wasserqualität ebenso wichtig wie für die Wasserverfügbarkeit. Gerade vor dem Hintergrund von zunehmenden Extremereignissen ist es wichtig, ihre Ausgleichsfunktion für den Landschaftswasserhaushalt zu erhalten.
- Die Nährstoffbelastung kann zudem durch einfache Maßnahmen wie konservierende Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft reduziert werden.
- Der Klimawandel mit seinen vielfältigen Auswirkungen erfordert die rechtzeitige Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen im Sinne eines integrierten Flusseinzugsgebietsmanagements. Notwendig dafür ist die Einbeziehung aller relevanten Akteure und Institutionen.

## Landwirtschaft

- Für die Landwirtschaft müssen folgende Einflussgrößen differenziert betrachtet werden: Temperaturerhöhung, Veränderung der Niederschläge und deren Verteilung im Jahresverlauf, Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration und der Ozon-Konzentration sowie veränderte Strahlungswerte. Alle diese Faktoren wirken auf das Pflanzenwachstum und die Agrarökosysteme, teilweise akkumulierend, teilweise gegenläufig.
- Für Deutschland wird vor allem ein Effekt der CO<sub>2</sub>-Erhöhung prognostiziert, welcher die Ertragsverluste durch erhöhte Temperaturen teilweise kompensieren bzw. reduzieren kann.
- In der Region Berlin-Brandenburg werden sich voraussichtlich die Temperaturerhöhung und die verminderten Niederschläge im Sommerhalbjahr am stärksten negativ auf die landwirtschaftliche Produktion auswirken. Anpassungsstrategien sollten daher vor allem auf robustere, trockenheitsresistente Sortenzüchtungen zielen.
- Daneben wird in Zukunft eine die Bodenstruktur und den Humusaufbau fördernde Fruchtfolge und Bodenbearbeitung von hoher Bedeutung sein. Gleiches gilt für eine optimale Nährstoffversorgung, die kleinräumig bedarfsgerecht zu gestalten ist. Sehr wahrscheinlich wird die lokal notwendige Einrichtung von Bewässerungssystemen Konfliktpotenziale hervorrufen.
- Die Ergebnisse auf einzelbetrieblicher Ebene sind stark von den zukünftigen Prämienzahlungen, Kostenstrukturen und Preisniveaus abhängig. Auch wenn es zu Anpassungsreaktionen kommt, ist unter langfristig möglicher völliger Liberalisierung auf schwachen Standorten mit einem Rückgang der Grünlandnutzung und der Aufgabe leichter Ackerflächen zu rechnen.
- Auf der Einkommenseite kann der in den Modellrechnungen als Folge der Marktliberalisierung angenommene Anstieg der Verkaufspreise in allen Szenarien den Wegfall der Prämien sowie den Anstieg der Inputpreise kompensieren. Zurückzuführen ist dies allerdings ausschließlich auf die eingeschätzte erheblich steigende relative Rentabilität der Milchviehhaltung. Der Pflanzenbau in der bisherigen Form wird demgegenüber am Standort weitgehend unwirtschaftlich, soweit er nicht zur Ver- und Entsorgung des Viehhaltungsbereichs benötigt wird. Damit werden Flächen für potenzielle alternative Nutzungen frei. Der relative Standortvorteil von Roggen wird langfristig – sowohl bei Klimawandel als auch bei Marktliberalisierung – erhalten bleiben. Der Rapsanbau erweist sich in den modellierten Szenarien als besonders preissensibel.

- Als Risikominimierungsstrategie empfiehlt sich eine Erweiterung der Fruchtfolgen und auch des Kulturartenspektrums. Die Einführung von Mehr-Gefahren-Versicherungen, möglicherweise auch zum Teil staatlich gefördert, sollte weiter als Maßnahme zur Einkommenssicherung geprüft werden.

## **Waldwirtschaft**

- Vom Klimawandel werden nach derzeitigem Wissenstand vor allem die folgenden Bereiche beeinflusst werden: Zuwachsvermögen der Waldbäume, Grundwasserneubildung und Nutzung des Waldes als Erholungsraum. Keine der untersuchten Baumarten Buche, Eiche, Kiefer und Birke wird unter den getroffenen Annahmen völlig ausfallen. Die Buche reagiert als einzige Baumart auf den derzeit von ihr besiedelten besseren Standorten tendenziell positiv auf den Klimawandel, während die anderen betrachteten Baumarten unter zunehmend trockenen Bedingungen leiden werden. Die Konkurrenzkraft der Buche wird zunehmen und die waldbauliche Steuerung von Mischbeständen aus Buche und anderen Baumarten aufwändiger werden als es derzeit der Fall ist.
- Vor dem Hintergrund der zunehmenden Wahrscheinlichkeit von Extremjahren (Dürren, Starkregen) ist eine schonende Behandlung der Bestände nach dem alten forstlichen Motto „früh – mäßig – oft“ angeraten, damit nicht von menschlicher Seite stark störende Eingriffe den Bestand für schädliche Einflüsse disponieren. Zur Risikominimierung ist zudem bei der Neubegründung von Beständen eine Mischung von Arten und jeweils unterschiedlichen Herkünften nützlich.
- Der Wald hat im Bezug auf den Klimawandel nicht nur eine passive Rolle. Durch die Nutzung des Rohstoffes Holz, insbesondere auch als Ersatz für energieintensiv hergestellte Produkte (Kunststoffe, Aluminium) oder fossile Brennstoffe, kann effektiv zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen beigetragen werden. Sofern bei der Verjüngung eines Bestandes nicht komplett mit Naturverjüngung gearbeitet werden kann, ist es günstig, im Zweifel standortangepasste zuwachsstarke Baumarten zu bevorzugen.
- Die Grundwasserneubildung geht sehr wahrscheinlich zurück. Im ungünstigsten Fall ist ein Rückgang der Versickerung auf ein Viertel, im günstigsten auf etwa drei Viertel des derzeitigen Niveaus zu erwarten. Die Baumartenverteilung spielt dabei eine geringe Rolle, da Wechselwirkungen mit Bodenvegetation, Terminierung von Regenereignissen und Bestandesstruktur ebenfalls eine Rolle spielen.
- Die Analyse der derzeit grundwasserbeeinflussten Standorte zeigt, dass bei einer Absenkung des Grundwasserspiegels auf diesen Flächen mit drastischen Zuwachsrückgängen und einer Schwächung der Bäume gegenüber Extremereignissen und Pathogenen gerechnet werden muss.
- Die Erholungsnutzung des Waldes wird durch eine zunehmende Gefährdung durch Sommerstürme, eine steigende Anzahl von Tagen in den Waldbrandwarnstufen III und IV, abgestorbenes Kronenmaterial bei geschwächten Bäumen und die Ausbreitung allergener Neophyten und Neozoen negativ beeinflusst. Die Berliner Forsten werden sich auf eine steigende Häufigkeit von Sommerstürmen mit den entsprechenden Schäden im Wald und auf Nachbargrundstücken einstellen und Strategien und Taktiken zu deren Minderung entwickeln müssen. Waldbetretungsverbote sind eine Möglichkeit (auch in Bezug zur Waldbrandgefährdung), die jedoch durch entsprechende Aufklärungsarbeiten bei der Bevölkerung begleitet werden sollten.

- Insgesamt sind für die Berliner Forsten keine katastrophalen Änderungen zu erwarten. Die Betreuung des Waldes wird intensiver erfolgen müssen, um bei negativen Veränderungen eingreifen und steuern zu können, bevor große Areale betroffen sind. Entsprechend aus- und fortgebildetes Personal mit ausreichender Material- und Technikausstattung sollte vorgehalten werden.

## **Naturschutz und Landschaftsplanung**

- Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Naturhaushalt, den Naturschutz und die Landschaftsplanung werden bestimmt durch die zu erwartende Temperaturerhöhung, Veränderungen der Niederschläge und Niederschlagsverteilung sowie zunehmende Häufigkeit von Wetterextremen. Die Debatte um Wirkungen des Klimawandels auf den Naturschutz ist jedoch von Unsicherheit gekennzeichnet.
- Gleichwohl kann der Klimawandel als treibende Kraft, die Natur und Landschaft in Deutschland mittel- und langfristig beeinflussen wird, angesehen werden. Mit einem besonders starken Nettoverlust an Biodiversität wird gerechnet – insbesondere in Feuchtgebieten und bei grundwasserabhängigen Landökosystemen, wenig jedoch auf den die Region prägenden Rasenstandorten.
- Zu einem besonderen Problem dürfte werden, dass Habitatgeneralisten einwandern. Diese werden heimische Flora und Fauna verdrängen und können zu gesundheitlichen Belastungen für den Menschen führen.
- Klimatische Veränderungen werden die beiden Naturgüter Gewässer und Boden in besonderer Weise beeinflussen – etwa durch zunehmende Verlandung von Oberflächengewässern sowie Erosionsgefährdung.
- Für die Menschen im urbanen Landschaftsumfeld ergeben sich besondere Konsequenzen: Innerstädtische Zonen werden sich deutlich stärker erwärmen als das Umland. Wärme wird länger und zumal in der Nacht gespeichert, und das Stadtklima wird trockener. Es wird zu einer Einschränkung der Lebensqualität und insbesondere zu zusätzlichen gesundheitlichen Belastungen durch klimatisch bedingten Stress kommen.
- Anpassungen im politischen und planerischen Handeln sind notwendig. In Diskussionen mit der EU- und Bundesebene sollte Berlin insbesondere auf eine Neuausrichtung von Natura 2000 und anderen Schutzgebietskulissen hinwirken. Der anhand einzelner Arten abgeleitete Schutz innerhalb kleiner und mitunter fragmentierter Schutzgebiete muss verstärkt auf die Ziele des Artikels 10 bezogen, d.h. die Verbundräume müssen gestärkt werden. Die funktionalen Beziehungen in Schutzarealen müssen stärker betont werden, und diese Areale sind besser zu vernetzen bzw. auch zu vergrößern, um Wanderung von Arten zu unterstützen. Entsprechend müssten die Biotopverbundplanung weiterentwickelt werden und sich Leitbilder und Zieldefinitionen des Naturschutzes ändern. Landschaftsplanung und das Landschaftsprogramm sowie darauf beruhende Pläne und Programme müssten angesichts des Klimawandels neu justiert werden.
- Landschaftsplanung und Naturschutz in Berlin in Zeiten des Klimawandels bedarf einer noch engeren Abstimmung mit Behörden des Landes Brandenburg und zum Teil darüber hinaus, allein schon wegen der Großräumigkeit notwendiger Schutzgebietskulissen, aber auch wegen gebietsübergreifender Auswirkungen von Klimaänderungen und Anpassungsreaktionen an diese Änderungen. Im Rahmen größerer Mana-

gementverbände ließen sich zudem Naturschutzkonflikte zwischen Regionen besser vermeiden.

- Eine wichtige Bedeutung wird dem Management von Naturschutzgebieten zukommen. Es bietet sich die Möglichkeit an, Managementverbände zu gestalten, wenn Schutzgebietskulissen nicht ohne weiteres vernetzt werden können. Im Rahmen eines solchen, eher großräumig- bzw. integrativ-orientierten Managements wäre es darüber hinaus angeraten, die vorhandenen Managementpläne und -programme regelmäßig unter informeller Einbeziehung der Nutzer entsprechender Flächen zu überprüfen, zu diskutieren und anzupassen.
- Stärker als bislang sollte „klimatischen Faktoren“ im Rahmen der Strategischen Umweltprüfung und der Umweltverträglichkeitsprüfung Bedeutung zukommen, um Programme und Projekte frühzeitig mit den Konsequenzen von Klimaänderungen zu konfrontieren. Auch sollten verstärkt Pilot- und Demonstrationsvorhaben angestoßen sowie Referenzflächen für die Umweltbeobachtung ausgewiesen werden, wofür sich im Besonderen auch die A+E-Massnahmen der Berliner Stadtgüter eignen.
- Auf Berlin als urbaner Standort kommen besondere Aufgaben zu. Angesichts verstärkter gesundheitlicher Belastungen für den Menschen müsste die Erholungsfunktion von Naturlandschaften gestärkt werden. Besonderes Augenmerk muss zudem der Freihaltung von Kaltluftschneisen und Mehrung von Kaltluftentstehungsgebieten gewidmet werden. Dafür ist neben großen Freiflächen ein Netz aus kleinen und mittleren Grünflächen von Bedeutung.
- Insgesamt ist ein Mehr an „grüner Infrastruktur“ notwendig. Begrünter Innenraum muss ein zentrales Element strategischer Stadtentwicklungsplanung werden. Angepasste Planungs- und Umsetzungskonzepte und -prozesse müssen dabei die Gestaltung und Strukturierung von Freiflächen ebenso berücksichtigen wie deren Pflege und Bewässerung. Berlin ist hierbei auf einem guten Weg. Auch in Zukunft wären sämtliche größeren stadtplanerischen Vorhaben auf ihre Klimarelevanz zu prüfen. Die Ergebnisse dieser Prüfung wären in die planerische Steuerung zu integrieren. Verstärkte Öffentlichkeitsarbeit und Forschungsinitiativen sollten diesen Prozess unterstützen.

## Bioenergie

- Momentan werden 4,5 % der Ackerfläche Brandenburgs zur Bioenergieproduktion genutzt. Ihr Anteil an der Primärenergiegewinnung liegt bei ungefähr 4 %. Das weitere Potential des Energiepflanzenanbaus ist aber begrenzt, nicht zuletzt aufgrund vielfältiger Zielkonflikte.
- Für die Kulturlandschaft kann eine verstärkte Bioenergieproduktion zur Reduzierung der ökologischen Ausgleichsfunktion und zum Verlust von Struktur- und Artenvielfalt führen. Es sind aber auch positive Effekte durch neue Landschaftselemente denkbar.
- Beim Ausbau der Biogas-Produktion sollte vor allem der Fokus auf die Nutzung von Gülle und anderen Reststoffen gelegt werden, wie auch in der für 2009 beschlossenen EEG-Novellierung vorgesehen. Dies würde die Flächenkonkurrenz vor allem mit der sonstigen landwirtschaftlichen Produktion mindern.

- Der zur Energieproduktion benötigte Flächenanteil wird wesentlich vom technischen Fortschritt und den klimatischen Anbaubedingungen determiniert. Um die einseitige Ausrichtung auf wenige Fruchtarten zur Bioenergieerzeugung zu vermeiden, sollten politische Anreize für die Züchtung und den Anbau neuer sowohl einjähriger als auch mehrjähriger Kulturarten gesetzt werden.
- Die Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten, in Brandenburg besonders die Baumarten Pappel und Robinie, in kurzen Umtriebszeiten stellt eine extensive Form der Landnutzung dar, die mit Blick auf den Klimaschutz und die aktuelle Entwicklung der Preise für fossile Energieträger zunehmend interessant erscheint. 2005 wurden in Brandenburg 203 ha für Agrarholzanbau genutzt. Größere Anlagen mit Demonstrationscharakter für Technik, Logistik und Erträge fehlen aber bisher.
- Die maximal nachgewiesenen Erträge für Ostdeutsche Standorte liegen zwischen 12 t und 18 t TM/ha. Grundsätzlich variieren die Leistungen von Kurzumtriebsbeständen in Abhängigkeit von Baumart/Klon, Alter, Rotationszyklus, Bestandsdichte, Standort und Klima stark. Für Standorte wie Rieselfelder empfiehlt sich zunächst ein Modellversuch in kleinem Maßstab, wenn über den Schlag keine bisherigen Ertragswerte vorliegen. Die Artenvielfalt von Flora und Fauna nimmt im Vergleich zu landwirtschaftlichen Kulturen zu.
- Energiewaldanpflanzungen bewirken v. a. bei geländeangepasster Ausformung und zusätzlicher Waldrandgestaltung (Anpflanzung von Hecken) eine Zunahme der Strukturvielfalt in der freien Landschaft.
- Durch Filtrierung des Niederschlagswassers verbessern Kurzumtriebswälder die Sickerwasser- und somit die Grundwasserqualität. Auch der weitgehende Verzicht auf den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln ist förderlich für die Qualität des Oberflächenwassers.
- Streifenförmige Agroforstsysteme („alley cropping“) können Beschattung und Windschutz durch Heckenstrukturen leisten. Während längerer Trockenperioden wird so der Austrocknung des Bodens entgegengewirkt und potenzielle Temperaturextreme abgemildert.

## 1 Einleitung

Der Klimawandel schreitet schneller voran und wird größere Auswirkungen haben als bislang vermutet. Es ist daher unumgänglich, nicht nur Strategien zur umfassenden Emissionsvermeidung zu entwickeln und umzusetzen, sondern auch die nötigen Anpassungsmaßnahmen an die bereits nicht mehr zu vermeidenden Klimawirkungen einzuleiten. Der Klimawandel wird vielfältige Auswirkungen auf die Kulturlandschaft haben. Zum einen werden sich die Produktionsbedingungen der Land- und Forstwirtschaft sowie der Landschaftswasserhaushalt und die Zusammensetzung der Ökosysteme verändern. Zum anderen werden Vermeidungsstrategien wie der Ausbau erneuerbarer Energieträger (vor allem Bioenergie) eine Veränderung der Produktionsstruktur und des Landschaftsbildes mit sich bringen. Die Bewältigung und Gestaltung dieser Veränderungen erfordert einen breit angelegten gesellschaftlichen Diskurs unter Einbeziehung aller relevanten Akteursgruppen.

Der vorliegende Bericht im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung des Landes Berlin, der Berliner Stadtgüter GmbH, der Berliner Forsten und der Gemeinsamen Landesplanung Berlin-Brandenburg liefert einen Beitrag zur Verbesserung der notwendigen Informations- und Entscheidungsgrundlagen. Der Fokus liegt dabei auf landnutzungs- und flächenrelevanten Veränderungen. Ausgehend von den zu erwartenden direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die Kulturlandschaft Berlin werden Anpassungsmöglichkeiten für die Zukunft aufgezeigt. Zum anderen werden die Auswirkungen einer verstärkten Nutzung von Biomasse als erneuerbarer Energieträger auf die Landschaft abgeschätzt. Der Bericht fasst vorhandene Studien, Forschungsergebnisse und Szenarien zusammen, und ergänzt diese durch eigene Modellrechnungen für die Bereiche Land- und Forstwirtschaft. Zusammen mit den Praxispartnern Berliner Stadtgüter GmbH und Berliner Forsten wurden konkrete Entscheidungshilfen zu Anpassungsmaßnahmen und der langfristigen Strategieentwicklung erarbeitet. Die Aussagen und Empfehlungen des Berichts beziehen sich dabei ausschließlich auf die betrachteten Berliner Flächen.

Das Projekt wurde vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) in enger Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) sowie den Beratungsunternehmen agripol GbR und stadt.land.freunde. durchgeführt.

## 2 Regionale Klimamodellierung

### 2.1 Stand der Forschung

Die aufgrund zunehmender Treibhausgaskonzentration in der Erdatmosphäre zu erwartenden globalen Klimaveränderungen und ihre Folgen werden regional sehr unterschiedlich ausfallen (IPCC, 2007). Um regionale Charakteristika der Auswirkungen und zugleich Anpassungsmöglichkeiten an diese verlässlich beurteilen zu können, sind regionale Klimaszenarien unverzichtbar (KEULER et al. 2006). Szenarien bedeuten in diesem Zusammenhang die Beschreibung eines sich einstellenden Klimazustandes durch die Annahme der Änderung bestimmter Einflussgrößen. Globale Klimamodelle sind mathematische Abbilder des Erdsystems, in denen physikalische und biogeochemische Prozesse numerisch und somit das Klimasystem so realitätsnah wie möglich beschrieben werden (JACOB, 2007). Die räumliche Auflösung dieser Modelle liegt bei ca. 200x200 km und ist deshalb für regional differenzierte Betrachtungen nicht ausreichend. Aus diesem Grund wurde in den letzten Jahren verstärkt versucht Regionalisierungsverfahren zu entwickeln, deren Ergebnisse eine wesentlich höhere zeitlich-räumliche Auflösung aufweisen. Zwei grundsätzlich verschiedene Methoden kommen zur Anwendung: statistische und dynamische Verfahren. In beiden Ansätzen wird auf Randwerte zurückgegriffen, die von globalen Klimamodellen geliefert werden. Für die überwiegende Anzahl der Klimastudien in Deutschland ist dies das Globale Zirkulationsmodell ECHAM(3-5) des Hamburger Max-Planck-Instituts für Meteorologie (SCHALLER und WEIGEL, 2007).

### 2.2 Szenarienergebnisse

#### 2.2.1 Temperatur

Dem statistischen regionalen Klimamodell STAR2 zufolge ist bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts in der Region Berlin-Brandenburg mit einem deutlichen Temperaturanstieg von durchschnittlich 2,5 °C zu rechnen, wie der *Abbildung 2.2* zu entnehmen ist. Demnach steigen insbesondere im Winterhalbjahr die Temperaturen im Vergleich zum Referenzzeitraum (1951-2006) deutlich. Ist dieser Anstieg bis zur Periode 1 (2016-2025) mit 1,3 °C noch vergleichsweise gering (vgl. *Abbildung 2.1*), verschärft er sich bis zur Periode 2 (2046-2055) auf 3,1 °C. Dies gilt auch für das Sommerhalbjahr, auch wenn die Temperaturanstiege für diesen Betrachtungszeitraum mit 0,8 °C für die Periode 1 und 1,9 °C für die Periode 2 etwas geringer ausfallen. Bei einer differenzierten Betrachtung der Monate April, Mai, Juni und Juli wird ersichtlich, dass in der Periode 2 die Temperaturen vor allem in den Frühlingsmonaten April und Mai mit 3,2 °C und respektive 2,3 °C überdurchschnittlich stark ansteigen. Auch in der Periode 1 liegt der Mai mit einer durchschnittlichen Temperaturzunahme von 1,4 °C bereits über dem jährlichen Mittelwert von 1,1 °C.

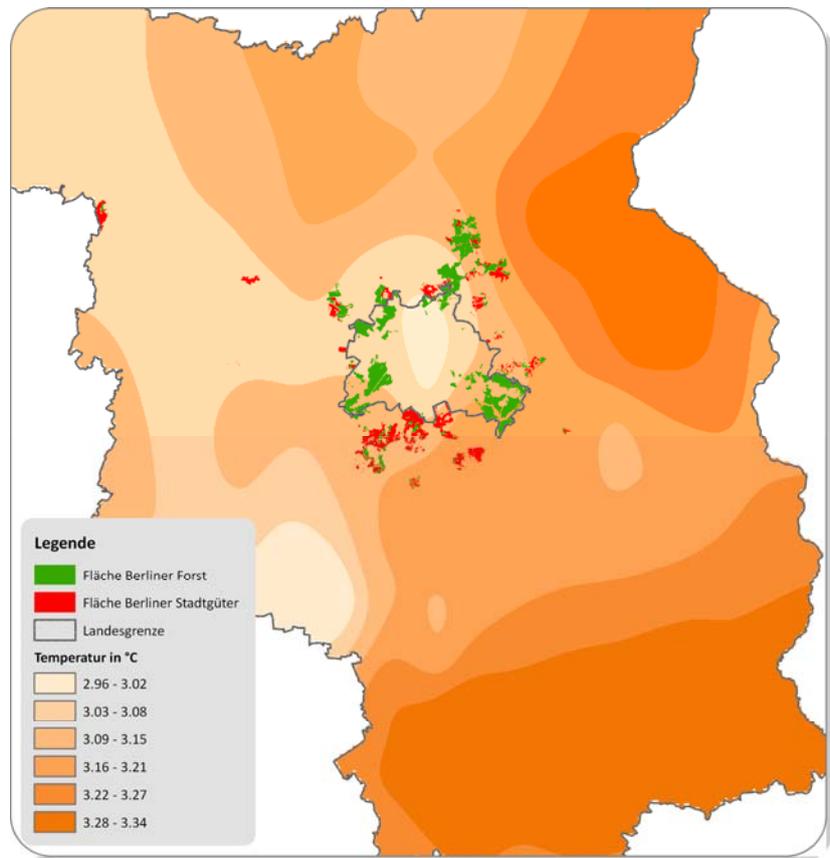
	April 2016- 2025	Mai 2016- 2025	Juni 2016- 2025	Juli 2016- 2025	Sommerhalbjahr 2016-2025	Winterhalbjahr 2016-2025	Durchschnitt 2016-2025
Szenario MITTEL	9.3	14.7	17.4	19.1	15.5	4.4	10.0
REFERENZ (1951-2006)	8.2	13.3	16.6	18.3	14.7	3.1	8.9
VERÄNDERUNG bis 2020	1.1	1.4	0.8	0.8	0.8	1.3	1.1

**Abbildung 2.1** Jährliche Durchschnittstemperatur der Monate April, Mai, Juni, Juli, des Sommerhalbjahres (April-September), des Winterhalbjahres (Oktober-März) sowie des gesamten Jahres für den Zeitraum 2016-2025 sowie deren Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum 1951-2006. Quelle: Eigene Darstellung, Daten GERSTENGARBE und WERNER, 2008.

	April 2046- 2055	Mai 2046- 2055	Juni 2046- 2055	Juli 2046- 2055	Sommerhalbjahr 2046-2055	Winterhalbjahr 2046-2055	Durchschnitt 2046-2055
Szenario MITTEL	11.4	15.6	18.5	19.8	16.6	6.2	11.4
REFERENZ (1951-2006)	8.2	13.3	16.6	18.3	14.7	3.1	8.9
VERÄNDERUNG bis 2050	3.2	2.3	1.9	1.5	1.9	3.1	2.5

**Abbildung 2.2** Jährliche Durchschnittstemperatur der Monate April, Mai, Juni, Juli, des Sommerhalbjahres (April-September), des Winterhalbjahres (Oktober-März) sowie des gesamten Jahres für den Zeitraum 2046-2055 sowie deren Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum 1951-2006. Quelle: Eigene Darstellung, Daten GERSTENGARBE und WERNER, 2008.

Abbildung 2.3 zeigt eine räumlich differenzierte Darstellung der Veränderung der Lufttemperatur im Winterhalbjahr der Periode 2 gegenüber dem Referenzzeitraum für einen Ausschnitt der Region Berlin-Brandenburg, in denen sich die Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH und der Berliner Forste befinden.



**Abbildung 2.3** Durchschnittliche Veränderung der Lufttemperatur in einem Ausschnitt der Region Berlin-Brandenburg für das Winterhalbjahr (Oktober-März) der Periode 2046-2055 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1951-2006. Quelle: Eigene Darstellung, Daten GERSTENGARBE und WERNER, 2008.

## 2.2.2 Niederschlag

Die *Abbildungen 2.4* und *2.5* zeigen die Veränderungen der mittleren Niederschlagsverhältnisse nach dem STAR2-Klimaänderungsszenario für die Region Berlin-Brandenburg bis 2020 und 2050 gegenüber dem Referenzzeitraum. In der Periode 1 (2016-2025) nehmen demnach die Niederschläge um knapp 50 mm, in der Periode 2 (2046-2055) um 30 mm ab. Zudem sind ausgeprägte jahreszeitliche Verschiebungen zu erkennen. Die Niederschläge während des Sommerhalbjahres gehen deutlich zurück. In der Periode 1 ist dieser Rückgang mit mehr als 18 % gegenüber dem Referenzzeitraum am größten. Aber auch in der Periode 2 erreicht der Rückgang mit ca. 60 mm fast den Wert des Zeitraums der Periode 1. Die Winter hingegen werden den Berechnungen zufolge deutlich feuchter. In der Periode 1 fallen im Vergleich zum Referenzzeitraum im Durchschnitt 10 mm mehr Niederschlag, dies sind im Verhältnis knapp 5 %. In der Periode 2 ist diese Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr mit mehr als 10 % noch stärker ausgeprägt.

Bei einer monatlich differenzierten Betrachtung stechen die Niederschlagsverluste im Juli heraus, die in beiden Perioden mehr als 15 mm betragen. Besonders in der Periode 2 sind fast 60 % der Niederschlagsverluste des Sommerhalbjahres im Juni und Juli zu verzeichnen. Auch der April ist in beiden Perioden deutlich trockener als während des Referenzzeitraums.

	April 2016- 2025	Mai 2016- 2025	Juni 2016- 2025	Juli 2016- 2025	Sommerhalbjahr 2016-2025	Winterhalbjahr 2016-2025	Durchschnitt 2016-2025
Szenario MITTEL	26	54	59	46	263	254	516
REFERENZ (1951-2006)	39	52	62	65	323	242	566
VERÄNDERUNG bis 2020	-13	2	-3	-19	-60	12	-50

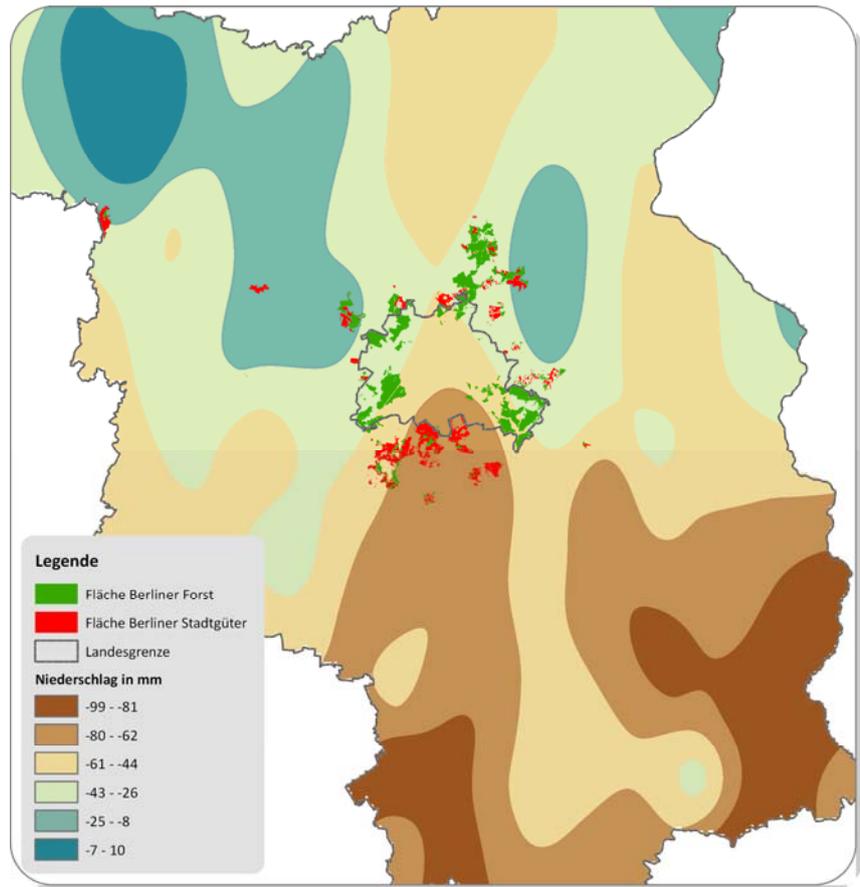
**Abbildung 2.4** Niederschlagssumme in mm/Jahr der Monate April, Mai, Juni, Juli, des Sommerhalbjahres (April-September), des Winterhalbjahres (Oktober-März) und des gesamten Jahres für den Zeitraum 2016-2025 sowie deren Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum 1951-2006. Quelle: Eigene Darstellung, Daten GERSTENGARBE und WERNER, 2008

	April 2046- 2055	Mai 2046- 2055	Juni 2046- 2055	Juli 2046- 2055	Sommerhalbjahr 2046-2055	Winterhalbjahr 2046-2055	Durchschnitt 2046-2055
Szenario MITTEL	31	51	48	50	267	270	537
REFERENZ (1951-2006)	39	52	62	65	323	242	566
VERÄNDERUNG bis 2050	-8	-1	-14	-15	-56	28	-29

**Abbildung 2.5** Niederschlagssumme in mm/Jahr der Monate April, Mai, Juni, Juli, des Sommerhalbjahres (April-September), des Winterhalbjahres (Oktober-März) und des gesamten Jahres für den Zeitraum 2046-2055 sowie deren Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum 1951-2006. Quelle: Eigene Darstellung, Daten GERSTENGARBE und WERNER, 2008.

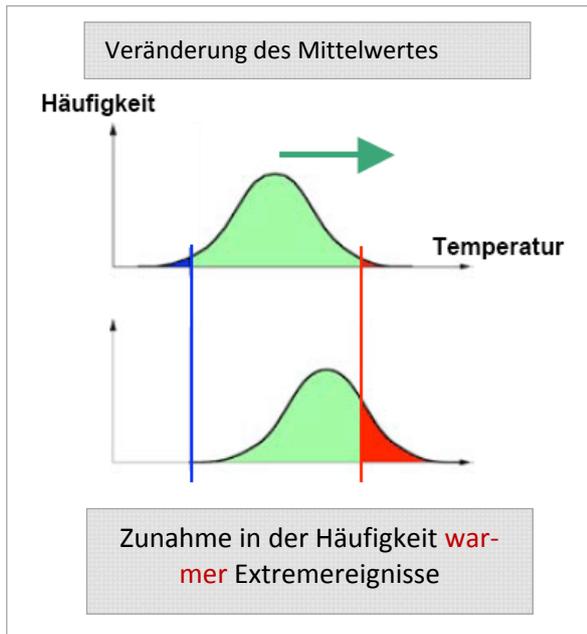
*Abbildung 2.6* zeigt eine räumlich differenzierte Darstellung der Veränderung der Niederschläge im Sommerhalbjahr der Periode 2 gegenüber dem Referenzzeitraum für einen Ausschnitt der Region Berlin-Brandenburg, in denen sich die Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH und der Berliner Forste befinden.

**Abbildung 2.6** Durchschnittliche Veränderung der Niederschlagssummen in einem Ausschnitt der Region Berlin-Brandenburg für das Sommerhalbjahr (April-September) der Periode 2046-2055 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1951-2006. Quelle: Eigene Darstellung, Daten GERSTENGARBE und WERNER, 2008.



## 2.3 Extremereignisse

Aufgrund der Veränderungen des mittleren Klimas und dessen Variabilität im 21. Jahrhundert wird erwartet, dass die Häufigkeit und Intensität einiger Extremereignisse zunehmen wird. *Abbildung 2.7* zeigt den Zusammenhang zwischen der Veränderung des Temperaturmittelwertes und der Häufigkeitszunahme von Extremereignissen. Die blaue und rote Fläche der oberen Kurve zeigt das Maß der Wahrscheinlichkeit von extremer Kälte und Wärme. Veränderte sich nicht das Klima, sondern nur das Wetter einschließlich aller statistischen Kenngrößen, bliebe auch diese Kurve unverändert. Das Klima aber wandelt sich und diese Änderung unterliegt einem Trend. D.h. der Mittelwert steigt an, die Verteilungskurve verschiebt sich und die Wahrscheinlichkeit für extreme Kälte nimmt ab und für extreme Wärme zu. Prinzipiell ist der Nachweis von Trends für Extremereignisse aber sehr schwierig, da diese relativ selten auftreten (IPCC, 2001). Nicht zuletzt aus diesem Grund stellt im Bereich der Klimamodellierung die Untersuchung von Extremereignissen einen zukünftigen Forschungsschwerpunkt dar.



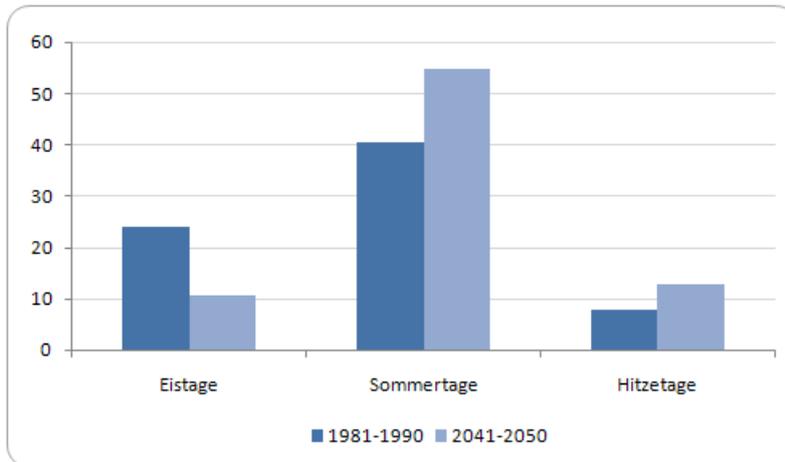
**Abbildung 2.7** Zusammenhang zwischen der Veränderung des Mittelwertes der Temperatur und der Zunahme von Extremereignissen. Quelle: Eigene Darstellung nach SCHAEER, 2007

### 2.3.1 Temperatur

In einer vom UBA geförderten Studie (SCHÖNWIESE et al., 2005) wurde ein eindeutiger Trend für Hitzeextreme wie Hitzetage ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) oder Hitzewellen (ungewöhnliche Phase von direkt aufeinanderfolgenden Hitzetagen) festgestellt. Insbesondere seit 1960/70 hat die Wahrscheinlichkeit von Hitzesommern um mehr als das Zwanzigfache zugenommen. Bei der Betrachtung von Tagesdaten ab 1970 führt die Wahrscheinlichkeitszunahme extrem warmer Tage zu einer Wahrscheinlichkeitsabnahme extrem kalter Tage und somit auch von Frosttagen. Die Ergebnisse der Szenarienmodelle bestätigen diese Aussagen. Bereits eine im Vergleich zu anderen regionalen Modellsimulationen relativ geringe Temperaturerhöhung, wie sie den STAR-Klimamodellszenarien zugrunde liegt, hat deutliche Auswirkungen auf Extremereignisse wie die Anzahl von Eis-, Frost-, Hitze- oder Sommertagen<sup>1</sup>.

Für die Wetterstation Schönefeld lässt sich diese Aussage beispielhaft an allen in *Abbildung 2.8* dargestellten Größen ablesen. Die Anzahl der Eistage geht in der Periode 2041-2050 gegenüber dem Zeitraum 1981-1990 um mehr als die Hälfte auf 10 Tage/Jahr zurück. Hingegen nimmt die Anzahl der Sommertage um mehr als 25 % auf 52 Tage/Jahr und der Hitzetage gar um ca. 60 % auf 13 Tage/Jahr gegenüber dem Referenzzeitraum zu. Dieses Bild bestätigen auch die Daten für weitere ausgewählte Stationen. Mit der generellen Abnahme der Frosttage geht auch das Risiko für Spätfrost zurück: Bei einer jahreszeitlichen Betrachtung der Frosttage ist zu beobachten, dass für die ausgewählten Stationen Schönefeld, Zehdenick, Tempelhof und Velten jeweils nur ein sehr geringer Teil in den Frühling fällt. Waren für die Station Schönefeld in der Periode 1981-1990 noch insgesamt 10 Frosttage zu verzeichnen, steht dem zwischen 2041-2050 lediglich einer gegenüber.

<sup>1</sup> Eistag= $t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ , Frosttag= $t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ , Sommertag= $t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ , Hitzetag= $t_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$



**Abbildung 2.8**

Durchschnittliche Anzahl der Eistage, Sommertage und Hitzetage pro Jahr für den Zeitraum 1981-1990 und 2041-2050 an der Station Schönefeld. Quelle: Eigene Darstellung, Daten GERSTENGARBE & WERNER, 2008

### 2.3.2 Niederschlag

Aus physikalischer Perspektive erscheint es logisch, dass durch die globale Erwärmung in einigen Regionen die Intensität der Niederschläge, in anderen Gebieten Trockenheit und Dürre zunehmen wird, da höhere Lufttemperaturen zu stärkerer Verdunstung und Erhöhung der Wasserdampfkapazität der Atmosphäre führen. Dadurch wiederum wird der absolute Wasserdampfgehalt der Luft gesteigert, während sich die relative Luftfeuchte nur geringfügig ändert. Das hat keinen Einfluss auf die Niederschlagshäufigkeit insgesamt, aber pro Ereignis steht mehr Wasserdampf zur Verfügung und führt zu häufigeren Extremereignissen mit größeren Niederschlagsmengen (KASANG, 2008a).

Das Niederschlagsverhalten im Zeitraum 1901-2000 weist für Deutschland einen eindeutigen Trend zu ausgeprägten jahreszeitlichen Unterschieden auf. Demnach nehmen im Winter sowohl die Monats- als auch die saisonalen Niederschlagssummen zu. Die erhöhte Variabilität bedeutet eine deutliche Zunahme von extrem hohen Niederschlagssummen und somit von Starkregenereignissen im Winter. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen GRIESER et al. (2002), die für denselben Zeitraum eine Extremwertstatistik<sup>2</sup> verwenden. Auf der einen Seite hat die Quantität der Tage mit starken Niederschlägen zugenommen. Das Maximum (46 %) liegt hierbei im Winterhalbjahr. Auf der anderen Seite hat die Intensität der Starkniederschläge zugenommen. Auch diese fällt im Winter stärker aus als im Sommer. Für das 21. Jahrhundert kommen PALMER & RÄISÄNEN (2002) nach einer Auswertung von 19 Klimamodellen zu dem Ergebnis, dass sehr feuchte Winter in Zentral- und Nordeuropa bis zu fünfmal häufiger werden. Für den Sommer hingegen ist eine Abnahme extrem hoher Niederschläge zu beobachten (SCHÖNWIESE et al., 2005). Das Elbe-Hochwasser, so die Schlussfolgerung, sei demnach ein seltenes Extremereignis, das auf eine für Westeuropa untypische Wetterlage zurückzuführen sei (SCHALLER & WEIGEL, 2007, vgl. KLIWA, 2004). CHRISTENSEN (2003) hingegen argumentiert, dass trotz abnehmender Sommerniederschläge<sup>3</sup> die Starkniederschläge aufgrund der oben genannten Wasserdampfkapazität häufiger und intensiver werden.

<sup>2</sup> Für eine ausführliche Darstellung dieser Methode sei auf MALITZ, G. und ERTEL, H. (2001): *Extremwertstatistische Auswertungen von Tageswerten der Niederschlagshöhe*. In *Klimastatusbericht 2001*, DWD verwiesen

<sup>3</sup> Vgl. Kapitel 2.1

### 2.3.3 Wind

Zurzeit gibt es jedoch keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse über eine Zunahme von Stürmen in außertropischen Gebieten. Für eine Betrachtung von Sturmaktivitäten eignet sich aus den oben genannten Gründen vor allem die Untersuchung von Luftdruckwerten und deren Veränderungen. In diversen Studien, in denen dieser Ansatz verfolgt wurde, konnte kein Trend zu einer erhöhten Sturmaktivität nachgewiesen werden. Zwar nimmt die Sturmstärke seit Anfang der 1960er Jahre zu, diese Zunahme liegt aber im Bereich der natürlichen Variabilität. Weitere Studien stützen diese Aussage; MATULLA et al. (2007) kommt zu dem Ergebnis, dass nach der dramatischen Verschärfung des Sturmklimas in Nordeuropa zwischen 1960 und 1995 dies in den letzten Jahren auf ein durchschnittliches eher ruhiges Niveau zurückgekehrt ist. Auch für den Nordostatlantik konnte in den letzten hundert Jahren keine signifikante Änderung des Sturmklimas nachgewiesen werden. Für die britischen Inseln wurde seit den 1960er Jahren zwar eine Zunahme von Stürmen und deren Intensität beobachtet, entsprach aber keinem Trend für den Zeitraum 1881-1997 (JONES et al., 1999).

### 3 Makroökonomische und agrarpolitische Rahmenbedingungen

Zu den wesentlichen Entscheidungsgrundlagen angesichts des Klimawandels zählen neben offensichtlichen Fakten zur globalen Erwärmung und deren potenziellen Auswirkungen auf verschiedene Bereiche auch Informationen zu den makroökonomischen und politischen Rahmenbedingungen für die nächsten Jahre und Jahrzehnte. Gerade im Agrar- und Forstbereich sind diese Rahmenbedingungen heute einem mitunter gravierenden Wandel ausgesetzt. In der Tat werden sich vor allem die makroökonomischen und agrarpolitischen Grundlagen, auf deren Basis etwa Land- und Forstwirte Investitionen vornehmen und politische Festlegungen getroffen werden, entscheidend ändern.

#### 3.1 Auswirkungen wichtiger globaler Trends auf die Nachfrage

In verschiedenen Studien werden wichtige Triebkräfte, die insbesondere die Nachfrage nach agrarischen und anderen Gütern beeinflussen, diskutiert, so z. B. in EC (2008), FAPRI (2008), IFPRI (2005), OECD und FAO (2007), USDA (2008) und VON WITZKE, NOLEPPA und SCHWARZ (2008). Es sind drei Faktoren, die für Veränderungen der Nachfrage in den nächsten Jahren und Jahrzehnten verantwortlich gemacht werden:

- ein anhaltendes Wachstum der Weltbevölkerung,
- deutliche Steigerungen des Pro-Kopf-Einkommens und Grades der Urbanisierung in Entwicklungs- und Schwellenländern und damit verbundene Veränderungen der Ernährungsgewohnheiten, und
- eine weiterhin steigende Nachfrage nach Bioenergie.

Eine Bestandaufnahme zu diesen drei Faktoren bzw. Schlüsselrends zeigt folgendes Ergebnis.

##### 3.1.1 Wachstum der Weltbevölkerung

Es besteht grundlegender Konsens, dass die Weltbevölkerung auch in den nächsten Jahrzehnten weiter ansteigen wird. (z.B. LEISINGER et al., 2002; UN, 2007). Statistiken des PRB (2007) zufolge lebten im Jahr 2000 ca. 6,1 Mrd. Menschen auf der Erde, gegenwärtig sind es bereits etwa 6,6 Mrd.. Der Anstieg wird sich fortsetzen: Im Jahr 2050 werden mehr als 9 Mrd. Menschen den Globus bevölkern.

Die aufgezeigte Entwicklung wird durch andere Autoren bestätigt. Das UNITED STATES CENSUS BUREAU (2008) publizierte unlängst, dass um das Jahr 2050 herum etwa 9,4 Mrd. Menschen auf der Erde leben werden. Diesem Ergebnis liegt allein im kommenden Jahrzehnt ein Anstieg der Weltbevölkerung von 12 % zugrunde, was die besondere Dynamik des Prozesses unterstreicht. Interessant ist dabei die unterschiedliche regionale Perspektive: Während z. B. in der EU und in den Neuen Unabhängigen Staaten die Entwicklung stagnieren bzw. sogar rückläufige Tendenzen zeigen wird, ist die positive Dynamik am auffälligsten in den Entwicklungs- und Schwellenländern (FAPRI, 2008).

### 3.1.2 Steigende Einkommen und Verstädterung

Aus makroökonomischer Sicht ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass Politikreformen und wirtschaftlicher Aufschwung in zahlreichen Entwicklungs- und Schwellenländern zu markanten Einkommenserhöhungen beigetragen haben (VON WITZKE, NOLEPPA und SCHWARZ, 2008).

Diese Entwicklung wird sich fortsetzen: In mehreren Analysen kommt das USDA (2007, 2008) zu der Einschätzung, dass sich die weltweite Wirtschaftskraft allein in den ersten 15 Jahren des 21. Jahrhunderts nahezu verdoppeln wird. Das impliziert ein vergleichsweise starkes Wirtschaftswachstum, wenn man die Entwicklung in vergangenen Jahrzehnten dagegen hält (OECD und FAO, 2007). Auch hier zeigen sich interessante regionale Unterschiede: Das potenzielle Wirtschaftswachstum wird relativ hoch sein in Asien und Osteuropa, hingegen relativ schwach in Westeuropa.

Zunehmende Einkommen und der offensichtliche Trend zur Verstädterung der Weltbevölkerung werden den Pro-Kopf-Verbrauch an Nahrungsmitteln sowie forstwirtschaftlichen Produkten (Möbel, Baumaterial etc.) erhöhen und die Präferenzen im Konsum (mehr Qualität statt nur Quantität) verändern. Allein die durch eine zunehmende Wirtschaftskraft ausgelöste potenzielle Erhöhung der Weltnachfrage nach Nahrungsmitteln ist enorm (vgl. z. B. BROWN, 1995). Nach Angaben der FAO (2008) wird zwischen den Jahren 2000 und 2015 die Nahrungsmittelkonsumtion um 8 % in Entwicklungsländern, um 4 % in Transformationsländern und um 1 % in Industrieländern wachsen.

Der steigende Nahrungsmittelverbrauch insbesondere in Entwicklungs- und Transformationsländern resultiert aus sich stetig verändernden Ernährungsgewohnheiten. Vor allem Milch- und Fleischprodukte und deren Verarbeitungserzeugnisse werden vermehrt konsumiert. Eine zunehmende Nachfrage dieser Güter führt im Umkehrschluss zu einer Erhöhung der Futtermittelnachfrage, wie Getreide und Ölsaaten (VON BRAUN, 2007). *Abbildung 3.1* zeigt vor diesem Hintergrund die Nachfrageänderung bei Getreide bis zum Jahr 2025. Gegenüber der Jahrtausendwende ist mit einer Steigerung um ca. 40 % zu rechnen.

Region	1969 (Mio. t)	1997 (Mio. t)	2025 (Mio. t)
Entwickelte Länder	564	725	834
Entwicklungsländer	453	1 118	1 776
Welt, insgesamt	1 017	1 843	2 610

**Abbildung 3.1** Weltgetreidenachfrage 1969, 1997 und 2025. Quelle: RUNGE et al. (2003).

Für Ölsaaten wird erwartet, dass global der Anstieg sogar noch größer sein wird als bei Getreide (FAPRI, 2008). Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass sich die Nahrungsmittelnachfrage in den kommenden 50 Jahren verdoppelt (THOMPSON, 2007). Die beiden Effekte – Zunahme der Weltbevölkerung und verändertes Ernährungsverhalten – dürften sich dabei in ihrer relativen Bedeutung die Waage halten (VON WITZKE, 2007, 2008).

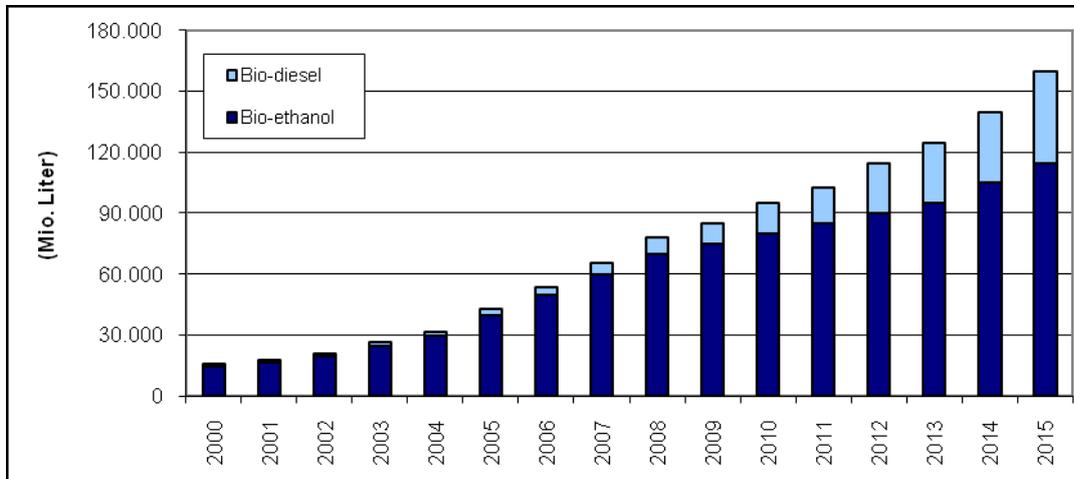
### 3.1.3 Nachfrage nach Bioenergie

Hinzu kommt eine verstärkte Nachfrage nach Biomasse als Energieträger. Man kann von zwei Kräften ausgehen, die den gegenwärtigen Bioenergieboom treiben. Zum einen ist deutlich geworden, dass es Sicherheitsbestrebungen – die zunehmende Versorgung von Regionen mit inländischen Energieressourcen – sind, die insbesondere die Öl importierenden Na-

tionen veranlassen, stärker auf Bioenergie zu setzen. Zum anderen ist es die Diskussion von Klimawandel und Auswirkungen globaler Erwärmung, die diese Hochkonjunktur speist. Folglich scheint die weitere Entwicklung vorgezeichnet. WESTCOTT (2007) z. B. geht für die Bioäthanolproduktion von einer exponentialen Entwicklung in den nächsten Jahren in den USA aus; ein Argument, das durch jüngste Aussagen amerikanischer Politiker unterstützt wird. Ähnliche Entwicklungen werden durch die OECD und FAO (2007) neben den USA auch für die EU, Kanada, Brasilien und China identifiziert. Ebenso erwarten HERTEL (2007) sowie EC (2007a) eine globale "bio-fuel bonanza". Lediglich das USDA (2008) geht davon aus, dass sich das Wachstum in der Bioenergieproduktion verlangsamen wird, wohl aber erst nach dem Jahr 2010. Für die EU heißt das, dass insbesondere eine zusätzliche Nachfrage nach Ölsaaten, Getreide und Zuckerrüben zur Bioenergieproduktion projiziert wird (u. a. OECD und FAO, 2007; HERTEL 2007; VON WITZKE, NOLEPPA UND SCHWARZ, 2008).

Angesichts der Tatsache, dass mit Ausnahme von Bioäthanol aus Zuckerrohr in Brasilien zurzeit kaum eine Produktion von Bioenergie als nachhaltig wettbewerbsfähig anzusehen ist (VON LAMPE, 2007; HENNIGES, 2007), sind es vor allem die Politiken in den Erzeugerländern, d. h. Subventionen und Beimischungsverpflichtungen, die das Wachstum der Nachfrage nach pflanzlicher Biomasse zur Energieproduktion ausgelöst haben und diesen Bedarf auch weiterhin stützen werden (für eine Zusammenfassung zu solchen Politiken und den entsprechenden Zusammenhängen nebst Quantifizierung von Effekten sei u. a. auf COLLINS (2007), COYLE (2007), HERTEL (2007), OECD und FAO (2007), SCHUMACHER (2007), USDA (2007) sowie VON WITZKE, NOLEPPA UND SCHWARZ (2008) verwiesen).

Vor diesem Hintergrund wird erwartet, dass sich die globale Bioenergieproduktion zwischen 2007 und 2015 verdoppeln wird.



**Abbildung 3.2.** Globale Bioenergieproduktion, 2000-2015. Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an COYLE (2007) sowie OECD und FAO (2007).

### 3.2 Auswirkungen wichtiger globaler Trends auf das Angebot

Die Frage ist, inwieweit das weltweite Angebot an agrarischen und weiteren natürlichen Rohstoffen mit diesem anhaltenden Nachfragedruck Schritt halten kann. Auch hierzu werden vor allem drei Faktoren diskutiert (siehe wiederum u. a. EC (2008), FAPRI (2008), OECD und FAO (2007), USDA (2008), VON WITZKE, NOLEPPA UND SCHWARZ (2008):

- Klimawandel,
- Ausstattung mit und Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen und
- Technologien/Produktivität.

Auch diese Faktoren sollen im Einzelnen kurz in ihrer partiellen Bedeutung skizziert werden.

### 3.2.1 Klimawandel als Bestimmungsfaktor globaler Agrarproduktion

Die globalen Effekte des Klimawandels für die Agrar- und Forstwirtschaft wurden bereits vielfach und im Detail analysiert (vgl. AGGARWAL et al., 2006; SCHRÖTER et al., 2005; THOMSON et al., 2005; ZHAO et al., 2005). Eine Metaanalyse durch EASTERLING und AGGARWAL (2007) kommt zu dem Schluss, dass die Agrarproduktion im globalen Durchschnitt über leicht ansteigende Erträge positiv beeinflusst bleibt (vgl. auch. TUBELLIO und FISCHER, 2007), solange der Temperaturanstieg im Bereich von 1 bis 3 °C bleibt. Für die Agrar- aber auch die Holzmärkte indes dürfte interessanter als der allgemeine langfristige Trend der aus Wetterextremen resultierende Effekt auf die Agrarproduktion sein. Und hier zeigt sich, dass die Frequenz und auch die Intensität von Wetterextremen auch im globalen Maßstab zunehmen werden (u. a. PARRY, 2005; ALCAMO et al., 2007). Dies wird offensichtlich zu temporären und markanten Ertragsausfällen führen, die etwaigen langfristigen regionalen Ertragszuwächse entgegenwirken können. Die Folge sind temporäre Produktionseinbußen und Marktstörungen.

### 3.2.2 Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen und Rohstoffen

Eine wichtige Triebkraft des Angebots an natürlichen Rohstoffen war in der Vergangenheit ohne Zweifel die Verfügbarkeit von Land. Global gesehen ist Land heute ein knapper Faktor. Es kann davon ausgegangen werden, dass das beste und produktivste Land bereits land- oder forstwirtschaftlich genutzt wird. Gleichzeitig gilt, dass in vielen Weltregionen kaum noch zusätzliche Landreserven zur Verfügung stehen bzw. aus anderen Gründen (Umweltschutz, Klimaschutz etc.) nicht für eine landwirtschaftliche Nutzung gewonnen werden sollten (VON WITZKE, NOLEPPA und SCHWARZ, 2008).

In der Tat zeigen jüngste Analysen (u. a. VON WITZKE, 2008; BRUINSMA, 2003; FISCHER and HEILIG, 1998), dass die traditionelle Annahme, wonach genug Land für eine Flächenexpansion zur Verfügung stehe, wohl nicht mehr zu halten ist: Demnach stünden global in den nächsten 20 Jahren, inklusive einer Reaktivierung stillgelegter Flächen, weltweit lediglich etwa 80 Mio. ha (VON WITZKE, 2008) zusätzlich für den Agrarbereich zur Verfügung (bei einer gegenwärtigen Nutzung von ca. 1,5 Mrd. ha (BRUINSMA, 2003)). Die Ergebnisse werden auch durch andere Analysen (HOFREITHER, 2005; IFPRI, 2005) gestützt. Selbst die FAO korrigierte mittlerweile ihre zuvor vergleichsweise optimistische Sicht der Dinge (FAO, 2008).

Auch Wasser wird zunehmend knapper, und die Zunahme von Wasserstress ist programmiert (ALCAMO et al., 2000). Während in Industrieländern Wasserstress wahrscheinlich durch verbesserte Managementmethoden und Technologien kompensiert werden kann, wird die Agrarproduktion (und die Forstwirtschaft) insbesondere in Entwicklungsländern leiden: Geschätzt wird, dass dort innerhalb von 30 Jahren die Pflanzenerträge infolge von Wassermangel um etwa 10 % zurückgehen (ROSEGRANT et al., 2002).

Schließlich sei auf den Faktor Energie eingegangen. Hier haben sich die Preise – ähnlich wie bei Agrarprodukten – stark nach oben und jüngst wieder nach unten bewegt, ohne historisch tiefe Niveaus wiederzuerlangen. Dies ist ein Zeichen von Knappheit bzw. verstärkter Nachfrage. Auch diese Knappheit wird anhalten und den Preis langfristig über dem Niveau etwa der 90er Jahre des 20. und der ersten Jahre des 21. Jahrhunderts halten.

### 3.2.3 Produktivitätsentwicklungen

Zwischen 1961 und 1999 entfielen etwa 80 % der globalen Produktionssteigerung auf eine Erhöhung der Erträge (BRUINSMA, 2003). Allerdings wird diese Entwicklung nicht aufrechterhalten werden können. Allein schon, weil das zusätzlich in Anspruch zu nehmende Land weniger produktiv sein wird, als das, das schon in Produktion ist.

Seit den Zeiten der so genannten Grünen Revolution in den 60er und 70er Jahren des ausgehenden Jahrhunderts hat sich die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität kontinuierlich verlangsamt: Es wird erwartet, dass sich dieser Trend unvermindert fortsetzt, solange technologischen Innovationen kein wirklicher, d. h. vermarktungsfähiger und/oder gesellschaftlich auf breiter Basis akzeptierter Durchbruch gelingt (RUTTAN und VON WITZKE, 1988; FAO, 2008). Eine neue Grüne Revolution sollte deshalb in absehbarer Zeit nicht erwartet werden (FAO, 2002; 2008).

### 3.2.4 Zwischenfazit

Es zeigt sich, dass die Agrarproduktion global in den nächsten Dekaden mit der Nachfrage nach agrarischen Rohstoffen nicht Schritt halten können. Ähnliches gilt für die forstwirtschaftlich relevanten Märkte. Die Nachfrage wird weiterhin rasant ansteigen, weil Bevölkerungswachstum und veränderte Ernährungs- und Konsumgewohnheiten infolge von Einkommenssteigerungen und Urbanisierung dies bedingen. Hinzu kommt die Nachfrage von insbesondere pflanzlichen Rohstoffen als Energieträger. Restriktionen, insbesondere hinsichtlich des limitiert verfügbaren Agrarlandes, aber auch aus der Sicht abnehmender Produktivitätssteigerungen, lassen das Angebot nicht adäquat steigen. Dies führt zu einem Paradigmenwechsel: Zeiten, in denen natürliche Rohstoffe in immer größerer Quantität zu immer geringeren Preisen produziert werden, dürften sobald nicht wieder zu verzeichnen sein. Die Preise werden sich nachhaltig über dem Niveau der letzten Jahrzehnte manifestieren.

Für die EU liegen durch VON WITZKE, NOLEPPA und SCHWARZ (2008) Berechnungen vor, die aufzeigen, was in etwa infolge der aufgezeigten angebots- und nachfrageseitig wirkenden globalen Trends erwartet werden kann:

- Neben dem generellen erwarteten Preisanstieg werden Unterschiede bei den Kulturarten zu verzeichnen sein: Während der Preis für Mais und Ölsaaten relativ stärker steigt, erhöht er sich bei Weizen und anderen Getreidearten eher unterdurchschnittlich. Dieses Ergebnis ist damit in der Tendenz stimmig mit den Analysen anderer Institutionen (u. a. FAPRI, 2008; USDA, 2008).
- Diese unterschiedliche Preisdynamik wirkt sich auf unternehmerische Entscheidungskalküle und damit den Anbau aus: Das Angebot in der EU wird besonders bei den beiden Kulturpflanzen Mais und Ölsaaten ausgebaut, bei Weizen und anderem Getreide erhöht es sich ebenfalls, jedoch deutlich geringer. Interessant ist der damit korrespondierende Substitutionseffekt bei den Anbauflächen: Vermehrt werden Flächen mit Mais und Ölsaaten zulasten von Weizen und anderem Getreide und der Stilllegung angebaut werden.

Die Implikationen sind klar: Nicht nur Veränderungen bei den klimatischen Faktoren werden in den nächsten Jahren und Jahrzehnten politische und wirtschaftliche Entscheidungen beeinflussen. Die eigentlichen Entscheidungsgrundlagen sind viel komplexer: Gravierende Ver-

änderungen makroökonomischer Determinanten werden in das Kalkül einbezogen werden müssen. Bisweilen können sie stärkere Änderungen bedingen als die Klimaproblematik.

### 3.3 Agrarpolitische Optionen und Szenarien

Neben makroökonomischen Rahmenbedingungen können politische Entscheidungen maßgeblichen Einfluss auf künftige Entwicklungen ausüben. In einem agrarpolitischen Kontext war das in der Europäischen Union in der Vergangenheit ohne Zweifel oft und mitunter recht gravierend der Fall. Ein Beispiel wurde bereits genannt: Der politisch maßgeblich mitinitiierte Boom im Bereich Bioenergie. Zu fragen ist, ob und inwieweit agrarpolitische Optionen – insbesondere in der EU – gewählt werden (können), die in den nächsten Jahrzehnten die Rahmenbedingungen für politisches und wirtschaftliches Handeln im Kontext von Klimawandel und Kulturlandschaft verändern würden.

Eine klare Aussage, in welchem Maß die Agrarpolitik in eine neue Richtung schwenken wird, kann hier nicht vorbehaltlos gegeben werden:

- Die Vergangenheit hat gezeigt, dass Agrarpolitik einem ständigen Wandel unterzogen ist. Gerade die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU machte in jüngster Zeit alle drei bis vier Jahre eine Reform durch. Aktuell wird der so genannte „Health Check“ diskutiert. Der offensichtlich hohe Reformbedarf hat mit oft wechselnden Prioritätensetzungen zu tun. Es ist nicht absehbar, welche Prioritäten in ein bis zwei Jahrzehnten und darüber hinaus die Diskussion bestimmen werden.
- Die Ressourcenausstattung, d.h. die Finanzbudgets agrarpolitischer Entscheidungsträger, bleibt unklar. Im Allgemeinen wird auf europäischer Ebene mit einem Ausdünnen des Agrarbudgets gerechnet. Inwieweit Mitgliedsstaaten der EU und/oder einzelne Regionen dies über eigene Budgets und Maßnahmen kompensieren werden, ist nicht sicher.
- Agrarpolitik in der Europäischen Union wird in der Regel in Siebenjahresschritten programmiert, d. h. mit Maßnahmen (politischen Interventionen) bestückt und durchfinanziert. Der gegenwärtige Planungs- und Finanzrahmen bleibt bis 2013 bestehen, darüber hinaus bleibt die Ausrichtung trotz „Health Check“ noch vage. Eine Kompromissfindung auf Europäischer Ebene erscheint schwierig.

Allenfalls können an dieser Stelle also Optionen bzw. Szenarien aufgezeigt werden, die die aktuelle Diskussion bestimmen und in den nächsten Jahren manifest werden könnten. Die folgende Diskussion unterscheidet in diesem Zusammenhang die zwei Säulen der GAP der EU.

#### 3.3.1 Säule 1: Markt- und Preispolitik

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die EU in den zurückliegenden Jahren eine Entwicklung hin zu einem Mehr an Liberalisierung der Agrarmärkte vollzogen hat. Dies war politisch gewollt, wurde jedoch gerade auch in den letzten Jahren durch die Agrarpreisentwicklung auf den internationalen Märkten unterstützt, die eine Abschottung nicht mehr erforderlich machte. In der Tendenz wird diese Entwicklung weiter anhalten (RUDLOFF et al., 2008; WAITE, 2008). Eine deutliche Absenkung des verbleibenden Stützungslevels wird gerade im Rahmen der WTO verhandelt und könnte in den nächsten Jahren zu einer weiteren Liberalisierung führen. Im Raum steht eine Kürzung der so genannten OTDS (Overall Trade-Distorting

Domestic Support) um bis zu 85 % (RUDLOFF et al., 2008). Die Chancen für die Durchsetzung solcher Kürzungen sind in Zeiten vergleichsweise hoher Agrarpreise sicher besser als in der Vergangenheit, wenngleich sie jüngst mit der Ablehnung neuer WTO-Vorschläge, der so genannten Falconer-Proposals, einen Dämpfer erhalten haben.

### 3.3.2 Säule 2: Politik für den ländlichen Raum:

Im Gegensatz dazu dürfte sich die zweite Säule der GAP der EU in ihrer Bedeutung halten, eventuell könnte die budgetäre Ausstattung der EU-Politik für den ländlichen Raum sogar steigen. Zumindest können die Ergebnisse des „Health Check“ (EU-Kommission, 2008) in diese Richtung interpretiert werden (WAITE, 2008). Dies würde Räume eröffnen für Zahlungen für ganz konkrete Leistungen, wie sie im Rahmen der EU-Politik für die Entwicklung des ländlichen Raums im Zeitraum 2007–2013 (Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 des Rates) festgelegt sind. Entsprechende Maßnahmen würden auf die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Land- und Forstwirtschaft, Verbesserung der Umwelt und der Landschaft und Verbesserung der Lebensqualität im ländlichen Raum und Förderung der Diversifizierung der ländlichen Wirtschaft abzielen.

### 3.3.3 Visionen über 2013 hinaus

Die aufgezeigten Argumente decken nur wenig mehr als den Zeitraum bis zum Jahr 2013 ab. Will man darüber hinaus diskutieren, benötigt man grundsätzliche Aussagen zur Zielausrichtung der GAP der EU. Hierzu finden sich zu den Mitgliedstaaten „Visionen“ (RAAD VOOR HET LANDELIJK GEBIED, 2008). Demzufolge lässt sich annehmen, dass:

- die Eliminierung weiterer Preisstützungsmechanismen Priorität haben wird, ähnliches gilt für noch bestehende Quotensysteme und andere produktionsbeschränkende Maßnahmen,
- Direktzahlungen an Landwirte mehr und mehr zu „Zielzahlungen“ werden (d. h. Geld gegen erbrachte, klar definierte und abgrenzbare sowie abnehmbare Leistungen),
- weiterhin verstärkt Finanzressourcen aus Säule 1 in Säule 2 fließen werden, das Agrarbudget aber insgesamt abnehmen wird,
- die zusätzlichen Mittel in Säule 2 für eher regional- und standortangepasste Instrumente eingesetzt werden können,
- Fragen der Ernährungs- und Nahrungsmittelsicherheit an Bedeutung gewinnen werden, ebenso wie Fragen der Umweltschutz-, Tierschutz- und Klimaschutzpolitik, die in einem engen Zusammenhang, manchmal aber auch im Konflikt zur klassischen Agrarpolitik stehen.

Gleichwohl dürften diese Änderungen nur graduell eingeführt werden, was Anpassungszeit ermöglicht und somit Spielräume für unternehmerisches Handeln schafft. Als Fazit kann deshalb gezogen werden, dass nur wenig oder langsam Bewegung im Bereich Agrarpolitik auf der Ebene der EU absehbar ist, sich die Rahmenbedingungen für zielkonformes Entscheiden aber grundsätzlich verbessert haben und weiter verbessern werden. Der damit einhergehende Freiheitsgrad für politisches und unternehmerisches Handeln unterhalb der territorialen Ebene der EU, zumal in einzelnen Regionen, dürfte mehr Chancen zulassen als Restriktionen gesetzt werden, sofern adäquate öffentliche und private Ressourcen zur Verfügung stehen und Marktanreize wahrgenommen werden.

## 4 Auswirkungen des Klimawandels auf den Wassersektor

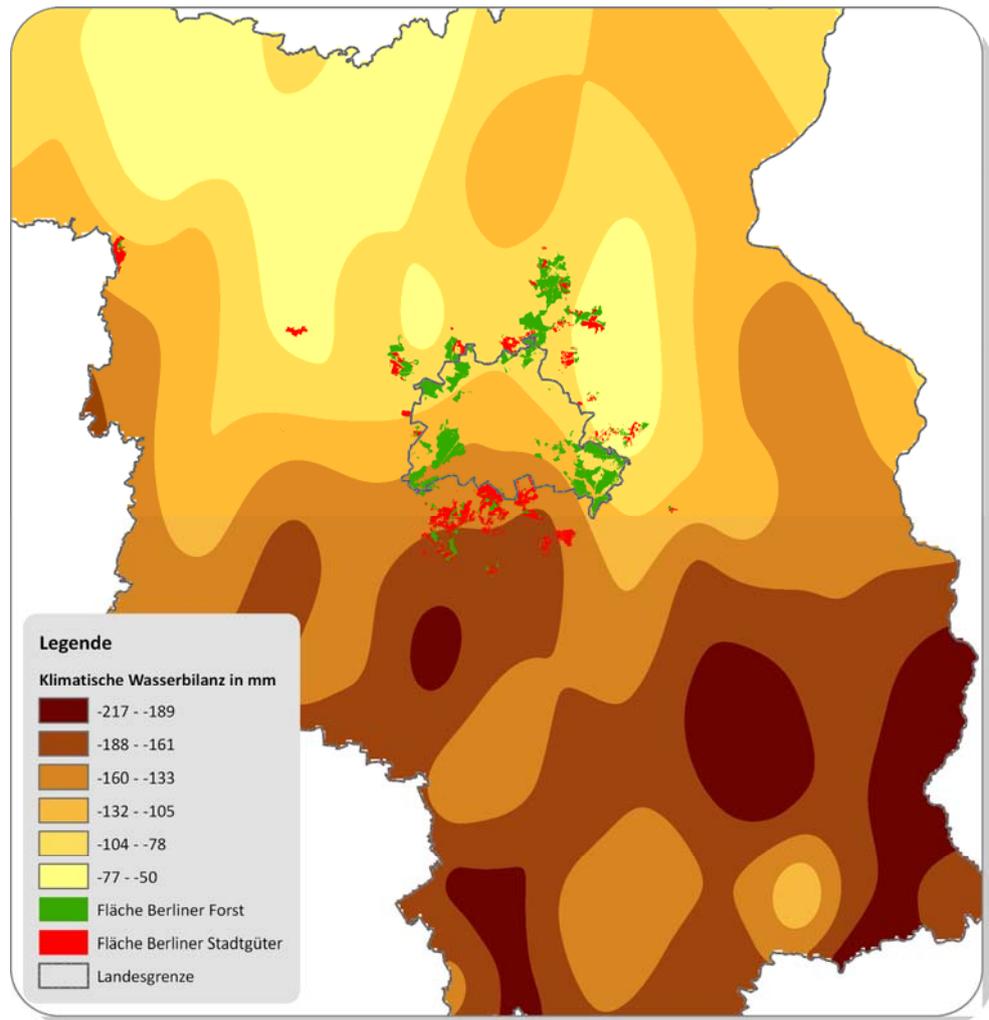
Das Elbeinzugsgebiet, in das die Region Berlin-Brandenburg größtenteils fällt, weist mit  $680 \text{ m}^3$  je Jahr die zweitgeringste Wasserverfügbarkeit pro Kopf in Europa auf. Diese ergibt sich aus Bevölkerungsdichte und Wasserbilanz. In der Region wies bereits im Zeitraum 1951-2004 die klimatische Wasserbilanz einen negativen Wert auf, für die ein enger Zusammenhang zwischen Evapotranspiration (Verdunstung durch Böden und Veratmung durch Pflanzen) und Niederschlag besteht. Der größte Anteil des Wassers wird an die Atmosphäre durch Verdunstung abgegeben und nur ein geringer Anteil speist das Abflussregime oder trägt zur Grundwasserneubildung bei (STANNERS & BOURDEAU, 1995).

Die in Berlin-Brandenburg in Folge des Klimawandels abnehmenden Sommerniederschläge, höhere Temperaturen und die damit verbundene erhöhte potenzielle Evapotranspiration haben auf der einen Seite direkten Einfluss auf das hydrologische Regime. Beispielsweise errechnet sich aus dem STAR-Klimaveränderungsszenario für die Jahre um 2050 eine Zunahme der Verdunstung im Spreewald zwischen Mai und September im Mittel um 40 mm gegenüber 1995-2000. Dies wiederum hat Auswirkungen für den Spreeabfluss, der um 13 Mio.  $\text{m}^3/\text{Jahr}$  vermindert wird (WECHSUNG, 2008). Auf der anderen Seite spielen exogene Kräfte, wie die Siedlungsentwicklung, die Landschaftssanierung des Tagebergbaus und Landnutzungsänderungen eine wichtige Rolle für den Landschaftswasserhaushalt. So werden hydrologische Klimaeffekte im Spree-Einzugsgebiet durch anthropogene Aktivitäten deutlich überlagert. Die Entwicklung der Abflussverhältnisse der Spree werden durch den aktiven Bergbau, den Sanierungsbergbau in der Lausitz und durch die Maßnahmen zur Speicherbewirtschaftung aufgelassener Tagebaue maßgeblich geprägt.

### 4.1 Klimatologische Triebkräfte

Bereits in einer vom PIK 2003 veröffentlichten Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 (GERSTENGARBE et al., 2003) wurden die hydrologischen Auswirkungen des Klimawandels ausführlich untersucht. Neuere Studien (vgl. WECHSUNG et al., 2008) bestätigen den generellen Trend zu leicht fallenden Niederschlägen in der Region, welche in Kombination mit der durch den Anstieg der Temperatur zunehmenden Verdunstung zu einer verstärkten Trockenheit in den Sommermonaten und damit zu niedrigeren Abflüssen führen. Aktuelle Berechnungen für das Elbe-Einzugsgebiet gehen von einer im Vergleich zum Beginn des Szenariozeitraums (2004-2013) durchgängigen Erhöhung der realen Verdunstung bis zur Mitte des Jahrhundert aus, obwohl einige Teilregionen Niederschlagsverluste zu verzeichnen haben (CONRADT et al., 2008). Dies ist in erster Linie auf die steigenden Temperaturen zurückzuführen. Aus dem gleichen Grund nimmt die klimatische Wasserbilanz ab, da höhere Temperaturen zu verstärkter Evapotranspiration führen. Dem im *Kapitel 2* vorgestellten Klimaänderungsszenario zufolge nimmt für Berlin und sein Umland im Zeitraum 2005-2055 die klimatische Wasserbilanz um bis zu 215 mm/Jahr ab. Für die gesamte Region Berlin-Brandenburg weist die durchschnittliche klimatische Wasserbilanz für die Periode 2046-2055 ein Minus von mehr als 140 mm/Jahr auf. Im Vergleich zur mit  $-48 \text{ mm/Jahr}$  bereits im Referenzzeitraum 1951-2006 negativen klimatischen Wasserbilanz, verschlechtert diese sich also nochmals um fast das Dreifache. *Abbildung 4.1* zeigt eine räumlich differenzierte Darstellung für einen Ausschnitt der Region Berlin-Brandenburg, in dem sich die Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH und der Berliner Forsten befinden.

**Abbildung 4.1**  
Szenario der Veränderung der klimatischen Wasserbilanz in der Periode 2046-2055 gegenüber der Referenzperiode 1951-2006 für einen Ausschnitt der Region Berlin-Brandenburg. Quelle: Eigene Darstellung, Daten GERSTENGARBE und WERNER, 2008.



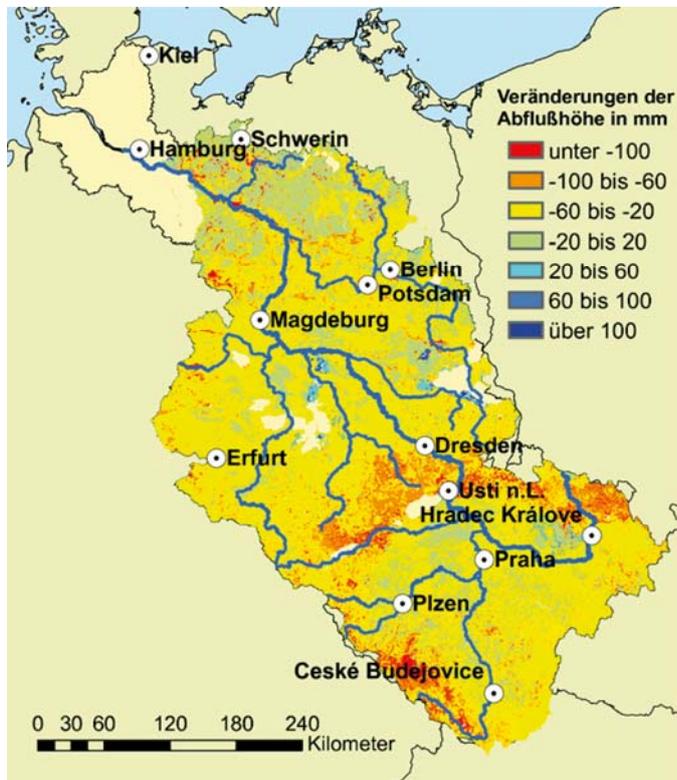
Eine noch wichtigere den Wasserhaushalt beschreibende Größe als die klimatische Wasserbilanz ist die mittlere jährliche Abflusshöhe. Sie wird aus der Differenz zwischen Niederschlag und realer Verdunstung gebildet und ist somit genauer als die klimatische Wasserbilanz, die auf der potenziellen Verdunstung beruht. Für das gesamte Elbeeinzugsgebiet ist bis 2050 im Vergleich zum Anfang des Jahrhunderts mit einem Abflussrückgang von etwa 20 % zu rechnen. Für Brandenburg gehen GERSTENGARBE et al. (2003) unter der Annahme eines trockeneren Klimas sogar von einer Reduzierung von 43 % aus, mit stärkeren Rückgängen im Winterhalbjahr.

Speziell für das Berliner Stadtgebiet wurde unter Verwendung der Berechnungsdaten des regionalen Klimamodells WETTREG<sup>4</sup> für zwei SRES<sup>5</sup>-Szenarien (jeweils in einer trockenen und einer feuchten Variante) mit Hilfe des Abflussbildungsmodells ABIMO 3 (GLUGLA & FÜRTIG 1997) die Grundwasserneubildung für die Dekade 2031-2040 berechnet (ZEITZ & LÖSCHNER 2007). Als Ergebnis zeigte sich eine mögliche Bandbreite der Entwicklung der Grundwasserneubildung von einer Verminderung um 14 % für die trockene bis zu einer Zunahme um 30 % für die feuchte Variante zum Vergleichszeitraum 1961-1990. Die deutlich abweichenden Werte zu den überwiegend forst- und landwirtschaftlich geprägten Flächen des Brandenburger Umlandes sind in den stark urban geprägten Flächen des Berliner Raumes begründet.

<sup>4</sup> Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode

<sup>5</sup> Special Report on Emission Scenarios

Mit Wasserverlusten ist insbesondere im Spreewald und generell in Feuchtgebieten zu rechnen. Dort sind sogar negative Abflusshöhen zu verzeichnen – d. h. die Verdunstung übersteigt die Niederschläge. Langfristig ist dies lediglich durch nachströmendes Grundwasser (beispielsweise aus Uferfiltration) oder künstliche Bewässerung möglich. *Abbildung 4.2* zeigt die Veränderungen der durchschnittlichen Abflüsse zum Ende (2044-2053) des Szenariozeitraums gegenüber dessen Beginn (2004-2013) für das gesamte Elbeinzugsgebiet.

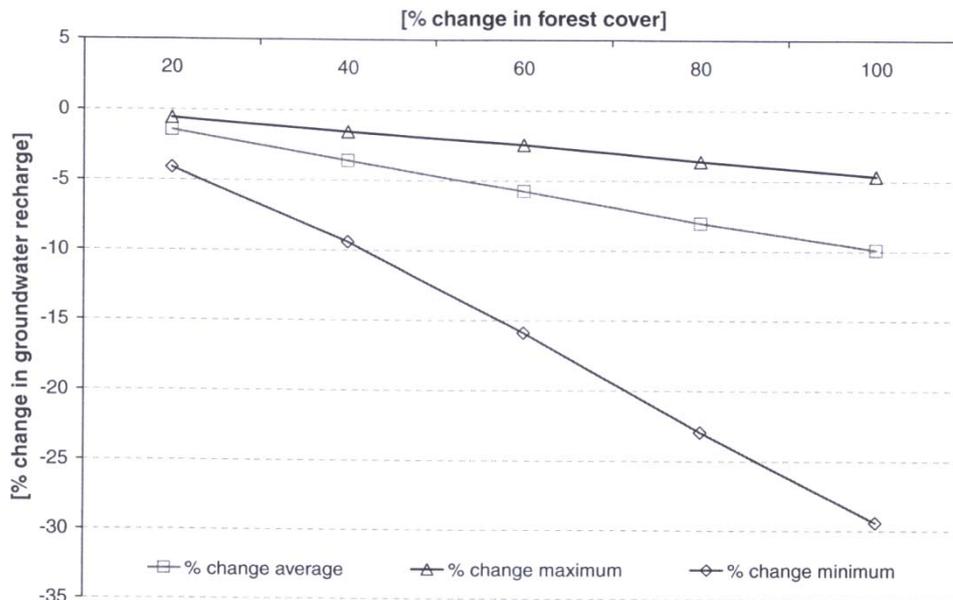


**Abbildung 4.2** Veränderung der durchschnittlichen Abflüsse 2044-2053 gegenüber 2004-2013. Quelle: CONRADT et al., 2008

#### 4.2 Landnutzungsänderungen als Triebkraft

Auf das hydrologische Regime hat der Klimawandel direkt Einfluss, etwa durch höhere Temperaturen. Diese führen beispielsweise zu Veränderungen in der Länge der Schneebedeckung im Winter oder zu einer verlängerten Vegetationsperiode. Damit verbundene Änderungen des Wasserverbrauchs sind direkte Folge des Klimawandels und haben Konsequenzen für die Wasserbilanz (ZEBISCH et al., 2005). Diese kann aber auch durch Landnutzungsänderungen beeinflusst werden. Generell besteht eine enge Wechselwirkung zwischen Landnutzung, Agrarwirtschaft und anderen wasserwandten Sektoren und dem hydrologischen Regime (HATTERMANN et al., 2007). WATTENBACH et al. (2007) weisen Auswirkungen auf Parameter des Wasserhaushalts durch zukünftige landschaftliche Veränderungen in einem modellbasierten Ansatz für Brandenburg nach. Dafür wurden zwei Szenarien entworfen: Im Szenario ‚Teilweise Liberalisierung‘ wird als treibende externe Kraft, die Veränderungen der Landschaftsstruktur forciert, die Reform der EU-Agrarpolitik hin zu einer stärkeren Marktorientierung angesehen. Die Ergebnisse gehen von einer Zunahme der landwirtschaftlichen

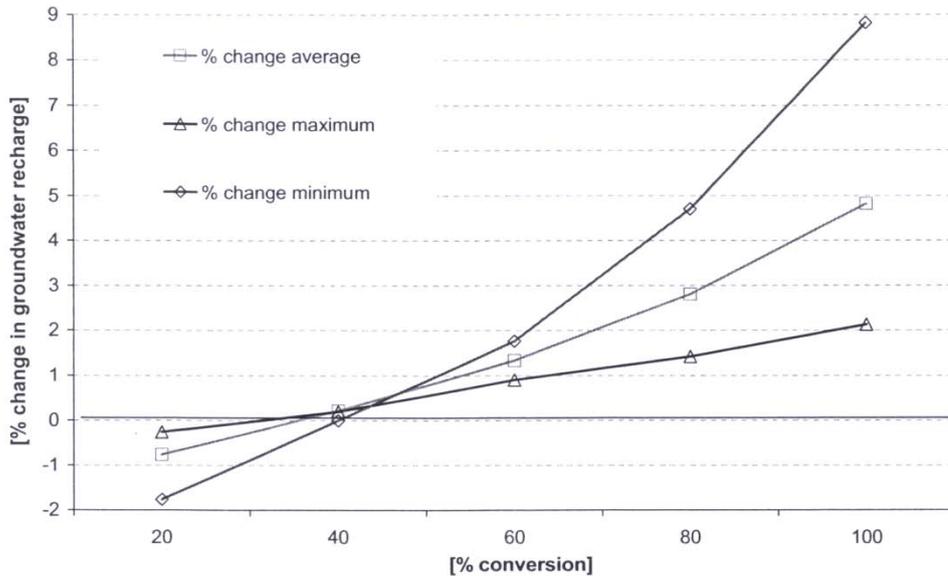
Brachflächen von 16,6 % auf 47,3 % der gesamten Landesfläche Brandenburgs aus.<sup>6</sup> Die hydrologischen Auswirkungen einer Aufforstung von knapp 10 % der Landesfläche wurde mit dem SWIM-Modell (HATTERMANN et al., 2002) simuliert. Obwohl die Evapotranspiration als die größte Abflusskomponente der regionalen Wasserbilanz bei zunehmender Aufforstung sich mit 0,53 % (10 % Aufforstung) bis 3,7 % (100 % Aufforstung) relativ wenig verändert, hat sie doch großen Einfluss auf andere Parameter der Wasserbilanz. Die durchschnittliche jährliche Grundwasserneubildung nimmt bei 10 % Aufforstung um -1,4 % ab, bei 100 % Aufforstung um -9,8 % (Abbildung 4.3) und führt zu einem Rückgang des jährlichen Oberflächenabflusses von -1,2 % respektive -4,8 %.



**Abbildung 4.3** Veränderung der jährlichen Summe der Grundwasserneubildung durch Aufforstung von landwirtschaftlichen Brachflächen (Szenario ‚Teilweise Liberalisierung‘). Quelle: WATTENBACH et al., 2007

Das zweite Szenario ‚Waldmanagement‘ spiegelt das Ziel der Landesregierung Brandenburgs wieder, bis 2045 die Dominanz der Kieferbestände zugunsten einer Erhöhung des Mischbestandes von 14 % (1996) auf 37 % bzw. des Laubwaldanteils von 16 % auf 19 % zu reduzieren. Die Analyse der Auswirkungen der Bestandszusammensetzung auf den Wasserhaushalt zeigt für dieses Szenario einen Rückgang der Evapotranspiration von bis zu -3,4 % bei einer kompletten Umgestaltung von reinem Kiefernbestand zu Laubwald. Sowohl der Oberflächenabfluss (+2 %) als auch die Grundwasserneubildung (+4,8 %) würden demnach von diesem Management profitieren. Bei einer Reduzierung des Laubwaldanteils auf 20 % ist ein gegenteiliger Effekt zu beobachten; die Evapotranspiration erhöht sich leicht bei gleichzeitiger Abnahme der Grundwasserneubildung (Abbildung 4.4). Es zeigt sich, dass schon bei relativ geringen Niederschlagsmengen die Grundwasserspeisung effektiver ist als bei einem Bestand mit Nadelbäumen. Eine zunehmende Umforstung zugunsten von Laubwaldbestand hat also den gegenteiligen Effekt des ‚Teilweise Liberalisierungs‘-Szenarios‘.

<sup>6</sup> Diese Prognose ist unter den derzeitigen Entwicklungen nicht sehr realistisch; es kommt hier vielmehr darauf an, den Zusammenhang zwischen Landnutzungsänderung und Auswirkungen auf den Wasserhaushalt in seiner Quantität zu illustrieren.



**Abbildung 4.4** Veränderung der jährlichen Summe der Grundwasserneubildung durch Umwandlung der Flächen von Waldkiefer zu Stieleiche (Szenario ‚Forstmanagement‘) für die gesamte Landesfläche Brandenburgs. Quelle: WATTENBACH et al., 2007

#### 4.3 Auswirkungen auf Wasserverfügbarkeit, Wasserbedarf und Gewässergüte

Die im Klimaszenario prognostizierte zunehmende Trockenheit im Sommer würde sich negativ auf den Landschaftswasserhaushalt auswirken. Für die Vegetation bedeutet dies eine Beeinträchtigung der Entwicklung von Biomasse aufgrund von Trockenstress. Falls nicht durch ein geändertes Wassermanagement gegengesteuert wird, führen die fallenden Abflussmengen zu sinkenden Fließgeschwindigkeiten, und unter extremen Bedingungen kann es sogar zu einer Umkehr der Abflussrichtung kommen. Derartige, zeitlich begrenzte Effekte werden dort beobachtet und können durch Klimaänderungseffekte noch verstärkt werden, wo das talwärts gerichtete Wasserspiegellagengefälle infolge hoher Verdunstungsraten von Seeflächen in Kombination mit Rohwasserentnahmen (Uferfiltrat) kippt (u.a. Auslaufbereich Großer Müggelsee). Geringere Fließgeschwindigkeiten und längere Aufenthaltszeiten können zu verstärkter Nährstoffbelastung der Gewässer führen, sofern höhere Phosphorrücklösung aus dem Sediment auftritt. Hinzu kommt, dass mit der steigenden Lufttemperatur auch die Wassertemperatur zunimmt, wodurch das Wachstum einzelner Algenarten angeregt werden kann und die Gewässer weniger Sauerstoff aufnehmen können. Bei deutlicher Abnahme der Grundwasserneubildung besteht außerdem die Gefahr des regionalen Aufstiegs mineralischen Tiefenwassers. In 300-3000 Meter besitzt dies einen Chloridgehalt, der bis 50mal über dem der Ostsee liegt und durch den abnehmenden Auflagerungsdruck aufsteigen und in einigen Trinkwassergewinnungsgebieten das Grundwasser versalzen kann (LUA, 2006). Durch fortschreitende Entwässerung der Moorflächen Berlin-Brandenburgs gehen jährlich etwa 15,4 Mio. m<sup>3</sup> Torf und potenzieller Wasserspeicher verloren (LANDGRAF & SCHULZ-STERNBERG, 2001). Dies hat vor dem Hintergrund des Klimawandels eine Reihe weitreichender Folgen. Die Torfmineralisation erhöht die CO<sub>2</sub>-Emissionen; beispielsweise betragen diese für entwässerte Grasland-Niedermoore 24 t CO<sub>2</sub> pro Hektar und Jahr (WRRL, 2007). Die trockenfallenden Moorflächen geben wesentlich mehr Nährstoffe frei als gebunden werden und beeinträchtigen in entsprechendem Maße die Gewässerqualität. Entscheidend in Anbetracht von in Zukunft zunehmenden Hitzeextremen und Starkregenereignissen ist die Reduktion des Porenvolumens, wodurch der stark entwässernde Torf hydrophob wird und die Nie-

dermoore ihre Ausgleichsfunktion für den Landschaftswasserhaushalt verlieren (LANDGRAF & SCHULZ-STERNBERG, 2001). Aus ökologischer Sicht ist ebenfalls die Existenzgefährdung von Vegetationsformen relevant, die an wechselfeuchte Standorte gebunden sind. Beispielsweise steigt der Flächenanteil der bedrohten Zielbiotope des Naturschutzes bis 2050 im Elbeinzugsgebiet von 4 % auf 15 % an (WECHSUNG, 2008).

Des Weiteren bestehen für die Region potenzielle Wassernutzungskonflikte, die durch die Entnahme einer bestimmten Wassermenge und einen minimal notwendigen Durchfluss, beispielsweise um die Schifffahrt aufrecht zu erhalten, bestimmt werden. Auch die Nutzung der Gewässer zu Erholungszwecken, die Nutzung des Oberflächenwassers als Kühlwasser der Berliner Kraftwerke sowie der ökologische Grundwasserschutz werfen eine Reihe potenzieller wasserwirtschaftlicher Problemfelder auf, die durch den Klimawandel verstärkt werden können. Die Wasserqualität und –verfügbarkeit im Berliner Raum wird durch nachfolgende Prozesse zum Teil stark geprägt (RACHIMOW et al., 2005):

- die Einleitung von gereinigtem Abwasser und zum Teil ungereinigtem Regenwasser in die gleichen Vorfluter,
- die Nutzung des Oberflächenwassers als Kühlwasser für die Kraftwerke (thermische Belastung),
- die niedrigen Fließgeschwindigkeiten durch Stauhaltung (u.a. Erhöhung der Sedimentationsraten, höhere Produktivität),
- relativ geringe Zuflüsse nach Berlin und damit hohe Anteile von gereinigtem Abwasser am Gesamtabfluss
- diffuse Stoffeinträge der Regenwassereinleitung und Überläufe aus der Mischwasserkanalisation nach Starkniederschlägen, mit zum Teil gravierenden ökologischen Folgen.

#### 4.3.1 Wasserverfügbarkeit

Seit 1990 ist die Wasserverfügbarkeit für den Großraum Berlin infolge einer drastischen Abnahme der Spreewasserführung, bedingt durch die signifikante Reduzierung der Einleitung von Sumpfungswassermengen im Lausitzer Raum, bereits stark rückläufig und nähert sich den natürlichen Verhältnissen an. Vor diesem Hintergrund ist bereits jetzt geboten, dass sich die Wassernutzer auf diese Realitäten einstellen und strategische wie auch technische Anpassungen vornehmen. Der geforderte Mindestabfluss am Pegel Große Tränke (Zuflusspegel des Berliner Gewässersystems) von  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  wurde zwischen 1993-1997 im Mittel an 69 Tagen/Jahr unterschritten (WENZEL, 2005). Gravierende Folgen und Effekte konnten bisher nicht festgestellt werden. So wurden im extremen Trockenjahr 2003 bei lang anhaltender Unterschreitung (2 Monate) des Mindestabflusses in Große Tränke keine negativen Auswirkungen auf die Gewässerbeschaffenheit im gesamten Fließverlauf bzw. Wassernutzungskonflikte in Berlin festgestellt (SenStadt 2003). So wies u. a. der Große Müggelsee deutlich bessere Sichttiefen und weniger Blaualgen auf als in den Vorjahren.

Die aktuellen und perspektivischen Wasserverfügbarkeiten im Lausitzer Raum werden maßgeblich den Niedrigwasser-Bewirtschaftungsspielraum bestimmen. Die Folgen des Klimawandels werden im Rahmen des Projektes GLOWA-ELBE<sup>7</sup> untersucht. Demnach können sich

<sup>7</sup> Das Projekt GLOWA-ELBE verfolgt für das Elbeinzugsgebiet den methodischen Ansatz, Klima- und Landnutzungsszenarien zu entwickeln und anzuwenden, die hinsichtlich klimatischer und sozio-ökonomischer Konditionen konsistent sind, potenzielle Rückkopplungen von Klima- und Landnutzungsveränderungen auf Wasserressourcen berücksichtigen und Unsicherheiten der Wasserverfügbarkeit quantifizieren (HATTERMANN et al., 2007).

die Klimaveränderungen auf die Wasserverfügbarkeit in Berlin-Brandenburg durch das wasserwirtschaftliche System bei Flutung der Tagebaurestseen künftig stärker auswirken, wenn keine weiteren Managementmaßnahmen ergriffen werden.

Tendenziell zeichnet sich ab, dass die Zeiträume und Häufigkeiten des Unterschreitens anzustrebender Mindestabflüsse aufgrund der klimabedingten Abnahme der Zuflüsse aus dem Spreegebiet und gleichzeitig zurückgehender Abflussspenden im Berliner Raum zunehmen können (vgl. *Abbildung 4.5*). Besonders nach 2035, wenn der Bergbau am Oberlauf der Spree ausläuft, erhöht sich Modellrechnungen zu Folge diese Wahrscheinlichkeit deutlich (RACHIMOW et. al, 2005). In Diskussion sind eine Vielzahl von Maßnahmen zur Kompensation kritischer Abflusssituationen (so u. a. die Oderwasserüberleitung). Für gesicherte wasserwirtschaftliche Prognosen und reale Konfliktanalysen ist es zudem erforderlich, die bisher geforderten Mindestdurchflussgrößen kritischer zu hinterfragen. MÖLLER & BURGSCHEWIGER (2008) kommen in einer Studie der Berliner Wasserbetriebe zu folgenden Ergebnissen: Sie schließen, dass die mittleren Durchflussmengen im Sommerhalbjahr groß genug sein werden, um einen Abfluss zu erzeugen und die Trinkwasserversorgung sicherzustellen (vgl. *Kapitel 4.3.2*). In Perioden längerer Trockenheit führen die Abflussschwankungen aber dazu, dass der Abfluss durch die Ableitungen der Klärwerke beherrscht wird. Generell wird das gereinigte Abwasser der Berliner Klärwerke einen größeren Stellenwert einnehmen als heute; es muss den Wasserspiegel der Stauhaltungen noch stärker stützen und wird somit die Uferfiltratgewinnung zunehmend prägen. Die Untersuchung der Stabilität und der Prozesse bei der Uferfiltration, einschließlich der Grenzen der Belastbarkeit derartiger Systeme, war und ist Gegenstand umfassender Forschungsprojekte (KWB 2005, KWB 2007)<sup>8</sup>.

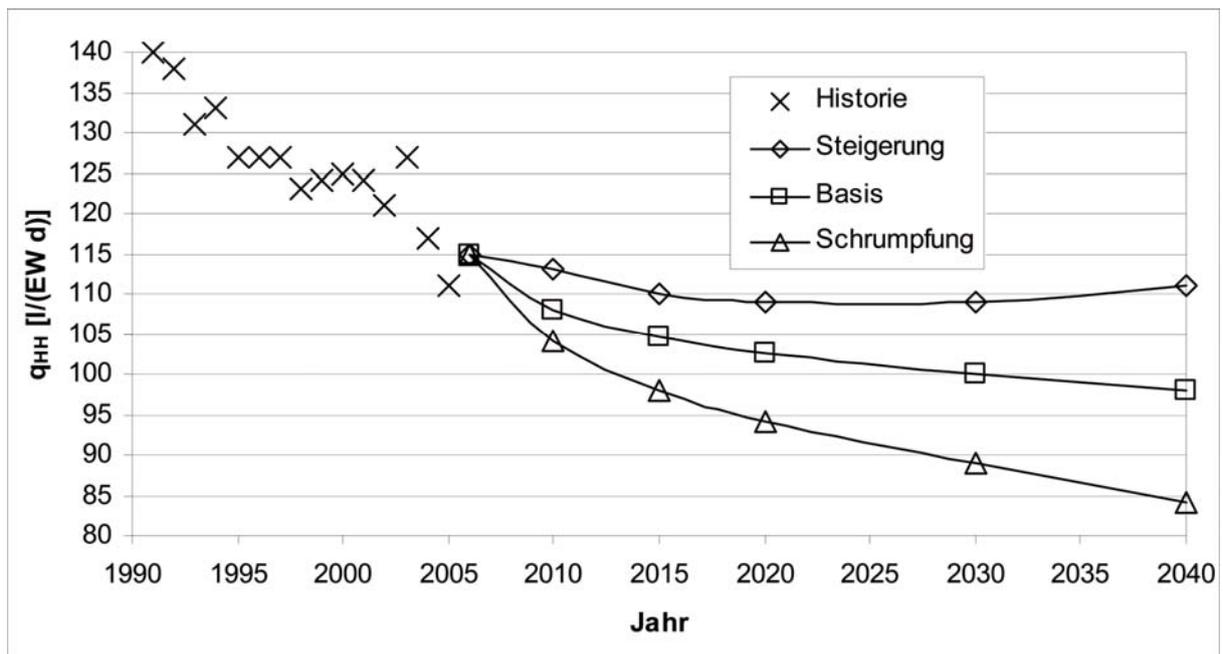
Berlin/Untere Havel			
Bezugsstatus	Prüfstatus	Indikator	Wirkung
S0 Wandel 2003-2007	2048-2052	Wahrscheinlichkeit für Sicherung des Mindesdurchflusses (6m <sup>3</sup> /s) am Pegel Spandau, Juni-September	von 34% auf 13%
S2 Wandel 2003-2007	2048-2052	Wahrscheinlichkeit für Sicherung des Mindesdurchflusses (6m <sup>3</sup> /s) am Pegel Spandau, Juni-September	von 70% auf 62%
S0 Wandel 2003-2007	2048-2052	Wahrscheinlichkeit für Sicherung des Mindesdurchflusses (6m <sup>3</sup> /s) am Pegel Sophienwerder, Juni-September	von nahe 100% auf 72%
S2 Wandel 2003-2007	2048-2052	Wahrscheinlichkeit für Sicherung des Mindesdurchflusses (6m <sup>3</sup> /s) am Pegel Sophienwerder, Juni-September	von nahe 100% auf 83%
S0 Wandel 2003/2007-2048/52	ohne Vergleichsbezug	Bedarfsbefriedigung für das Wasserwerk Friedrichshagen	ab 2030 niedriger als 70%
S2 Wandel 2003/2007-2048/52	ohne Vergleichsbezug	Bedarfsbefriedigung für das Wasserwerk Friedrichshagen	ab 2030 niedriger als 70%
S1 Wandel 2003/2007-2048/52	ohne Vergleichsbezug	Bedarfsbefriedigung für das Wasserwerk Friedrichshagen	stabil über 90%

**Abbildung 4.5** Wahrscheinlichkeit des Mindestdurchflusses für ausgewählte Pegel und Wasserverfügbarkeit für ausgewählte Wasserwerke unter verschiedenen Szenarien. S0 Wandel=Flutung der Tagebaurestseen gemäß der derzeitigen Planungen; S1 Wandel=Oderwasserüberleitung über die derzeitigen Kapazitäten hinausgehend; S2 Wandel=Schnellere Flutung der Tagebaurestseen. Quelle: Eigene Darstellung nach RACHIMOW et al., 2005

<sup>8</sup> Siehe [http://www.kompetenz-wasser.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/fact\\_sheets/NASRI\\_fs\\_2005\\_RZ\\_web.pdf](http://www.kompetenz-wasser.de/fileadmin/user_upload/pdf/fact_sheets/NASRI_fs_2005_RZ_web.pdf).

### 4.3.2 Wasserbedarf

Der Wasserverbrauch ist in heißeren und trockeneren Klimaten nachweisbar höher als in gemäßigten oder kühlen Breiten. Der in *Kapitel 2* beschriebene Klimawandel in Berlin-Brandenburg hat dementsprechenden Einfluss auf den zukünftigen Wasserbedarf (ANSMANN, 2008). Darüber hinaus hängt seine Entwicklung von weiteren Faktoren wie dem demographischen Wandel, der Entwicklung der Wasserpreise, dem verfügbaren Haushaltseinkommen und dem Einsatz von wassersparenden Technologien ab. Unterschiedliche Szenarien tragen der Möglichkeit verschiedener Entwicklungspfade dieser Einflussfaktoren Rechnung. In einer aktuellen Studie im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe (MÖLLER & BURGSCHEWIGER, 2008) sind dies die drei Szenarien ‚Basis‘, ‚Schrumpfung‘ und ‚Steigerung‘. Den klimatischen Rahmen bildet das STAR-Klimaszenario. Die Bevölkerungsentwicklung als eine der wichtigsten Einflussgrößen wurde auf Basis zweier Studien<sup>9</sup> extrapoliert. Lediglich das Szenario ‚Steigerung‘, geht durch dauerhaft optimierte ökonomische Rahmenbedingungen von deutlichen Wanderungsgewinnen aus. In den beiden anderen Szenarien geht die Bevölkerungszahl zurück. Der zwischen 1991 und 2005 rückläufige Wasserverbrauch von 140 Litern pro Einwohner (nur Haushalte) und Tag auf 111 Liter fällt unter diesen Annahmen weiter. Für die Variante ‚Steigerung‘ kommt es am Ende des Szenariozeitraums durch die veränderten klimatischen Bedingungen zu einem leichten Anstieg des Wasserverbrauchs, wie *Abbildung 4.7* zeigt.



**Abbildung 4.7** Entwicklung des Wasserverbrauchs der Berliner Haushalte seit 1991 und Prognose bis 2040. Quelle: MÖLLER & BURGSCHEWIGER, 2008.

In der Studie wird exemplarisch als Folge des Klimawandels von einem Rückgang der Grundwasserneubildung und des sommerlichen Abflusses von jeweils 40 % ausgegangen. Dies hat zwar einen Einfluss auf die Förderleistung, aber im Ergebnis nicht auf die Sicherstellung der Wasserversorgung nach Menge oder Tagesspitzenförderung. Dies gilt auch für das Szenario ‚Steigerung‘, wobei ein Ausgleich durch eine Anhebung der Fördermenge im Wasserwerk Tegel

<sup>9</sup> SENSTADT (2004): Bevölkerungsprognose für Berlin 2002 – 2020

BOMSDORF & BABEL (2005): Deutschlands Millionenstädte im demografischen Wandel - Fakten und Perspektiven bis 2040

auf 50 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr und des Wasserwerks Friedrichshagen auf 58 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr notwendig ist.<sup>10</sup> Die Annahme eines 40%-igen Rückgangs der Grundwasserneubildung stellt in diesem Zusammenhang ein Extremszenario dar. Die Rückgänge würden anderen Modellrechnungen zufolge deutlich geringer ausfallen (ZEITZ & LÖSCHNER 2007- siehe Kapitel 4.1).

#### 4.3.3 Gewässergüte im Berliner Gewässernetz

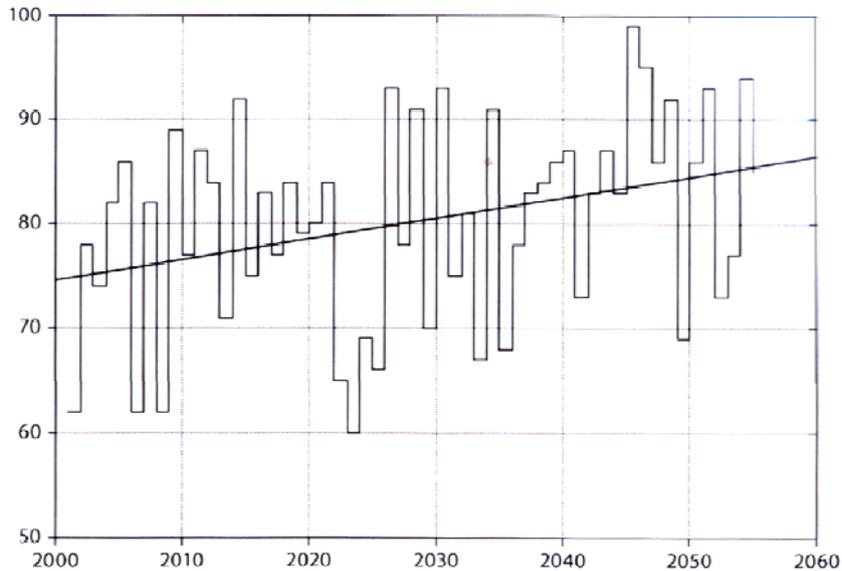
Der durch den Klimawandel zusätzlich induzierte Rückgang des Zuflusses nach Berlin in Kombination mit den Sanierungsmaßnahmen im Bergbau kann die spezifische Wassergüteproblematik des Berliner Raumes weiter verschärfen. Diese Wassergüteproblematik resultiert aus dem Rückstau der Hauptfließgewässer, die extrem langsamfließend sind. Dies führt zu sehr langen Aufenthaltszeiten in den seenartigen Erweiterungen von Spree und Havel. Damit sind die Gewässer des Berliner Raumes deutlich empfindsamer gegenüber Nährstoffeinträgen als reine Fließgewässer und die Qualität insbesondere durch die Folgen der Eutrophierung beeinträchtigt (SV, 2008).

Eutrophierungserscheinungen können grundsätzlich durch den Temperaturanstieg im Zuge der Klimaveränderung vorrangig in geschichteten Seen verstärkt werden, wobei auch gegenläufige Effekte nicht auszuschließen sind; die höheren Temperaturen verlängern die Schichtungsdauer (vgl. *Abbildung 4.8*), während das organische Material vermehrt abgebaut wird und die Sauerstoffkonzentration im Gewässer abnimmt. Dadurch wird adsorptiv gebundener Phosphor erhöht freigesetzt, wodurch sich die Eutrophierung des Gewässers verstärkt. Darüber hinaus können temperaturbedingt verstärkte Freisetzungsraten von Nährstoffen in Seen mit anschließendem Frachtaustrag (u. a. in Flusseen) auch eine Beschleunigung des Sanierungsprozesses nach erfolgter externer Lastsenkung bewirken. Insgesamt besteht zu den Wirkungszusammenhängen in Seen infolge von Klimaänderungen noch erheblicher Forschungsbedarf.

Nach derzeitiger Kenntnis wirken sich die klimatischen Änderungen auf den zeitlichen Verlauf der Planktonentwicklung und vorrangig auf die Artenzusammensetzung aus, während die mittlere Algenbiomasse hauptsächlich vom Nährstoffangebot gesteuert wird. Verglichen mit den 80er Jahren nahm im Großen Müggelsee die externe Nährstoffbelastung bis 2000 um 60 % beim Phosphor und 70 % beim Stickstoff ab und schwankt seither um dieses Niveau. Die Stabilität der Schichtung ist für die Phosphorrücklösung zwar prinzipiell entscheidend, maximale Freisetzungsraten wurden nach 1994 aber nur vereinzelt gemessen (2002, 2006). Die Phytoplanktonbiomasse nahm im Frühjahr mit sinkendem P ab. Im Sommer wurde im Großen Müggelsee eine engere Beziehung zum Stickstoff als zum Phosphor gefunden. Durch den starken Rückhalt von Stickstoff im Einzugsgebiet der Spree liegt in den durchflossenen Seen Phosphor im relativen Überschuss vor. Die durch erhöhte Temperatur am Sediment verringerte Sauerstoffkonzentration erhöht zwar lokal und kurzzeitig die P-Rücklösung, bewirkt aber im Sommer keine Steigerung der Algenbiomasse. Da die mittlere Tiefe 4,8 m im See beträgt, ist die thermische Schichtung labil. Die mittlere Biomasse der Cyanobakterien nahm gegenüber den 80er Jahren im Frühjahr um 95 %, im Sommer um 56 % ab (KÖHLER et al. 2000). Während im heißen August 2003 Sichttiefen nahe 2 m erreicht wurden, hatte der See in den letzten kühleren Sommern höhere Blaualgendichten (Datenbank Senatsverwaltung GesUmV). Wachstumsraten und Grazing des Zooplanktons sowie aufkommende Makrophyten lassen einen direkten Zusammenhang von Temperatur und Phytoplanktondichte bzw. Sichttiefe nicht zu.

<sup>10</sup> Im Projekt GLOWA-ELBE wurde der zukünftige Wasserbedarf der Elbeeinzugsregion untersucht.

In den letzten Jahren förderte die frühere Erwärmung des Wassers im Frühjahr die Kieselalgenblüte, die dann aus Siliziummangel im Mai zusammenbrach. Anhaltende Klarwasserstadien folgten. Für Frühjahrsarten der Cyanobakterien müssten deutlich höhere PT-Konzentrationen (vergleichbar mit denen der 70er und 80er Jahre ) vorliegen.



**Abbildung 4.8** Entwicklung der Schichtungsdauer (Tage) des Müggelsees über den STAR-Szenariozeitraum. Quelle: BERGFELD et al., 2005

Die Auswirkungen vermindelter Abflüsse auf die Wasserqualität werden in besonderem Maße durch die Entwicklung der Nährstofffrachten bestimmt. Modellberechnungen zeigen, dass unter der Annahme einer Umstellung von 40 % der Ackerflächen auf konservierende Bodenbearbeitung und somit einer Reduktion des Bodenabtrags und Oberflächenabflusses von 90 % die Nährstoffbelastung im Müggelsee in der Periode 2048-2052 ebenso zurückgeht wie die Algenbiomasse (vgl. *Abbildung 4.9*). Demnach nimmt die Stickstoffbelastung um im Mittel 35 % und die Phosphorbelastung um 10 % ab. Dies führt auch beim Phytoplankton zu einem Rückgang; die Biomasse der Blaualgen könnte laut Modellrechnungen durchschnittlich um circa 30 %, die der Kieselalgen um ca. 25 % sinken (BERGFELD et al., 2005).

Gewässergüte Berlin			
Bezugsstatus	Prüfstatus	Indikator	Wirkung
S0 Wandel	2048-2052	Schichtungsdauer des Müggelsees	Anstieg von 75 auf 87 Tage
S0 Wandel	2048-2052	Saisonalen Verlauf der Wassertemperaturen im Müggelsee	Maximum verschiebt sich von Juli nach August
S0 Wandel 2003/2007	2048-2052	Trendannahmen	
		<b>Obere Spree</b>	
		Stickstoff	-23.7%
		Phosphor	-33%
		Detritus Phytoplankton	-33%
		<b>Oder</b>	
		Stickstoff	-32%
		Phosphor	-62%
		Detritus Phytoplankton	konstant
S0 Wandel 2003/2007	2048-2052	Müggelsee, Güteparameter	
		N-Konzentration	-35%
		P-Konzentration	-10%
		Biomasse Sommerblaualgen	-30%
		Biomasse Kieselalgen	-25%
S0 Wandel 2048-2052	S1 Wandel 2048-2052	Müggelsee, Güteparameter	
		N-Konzentration	-5.5%
		P-Konzentration	38%
		Biomasse Sommerblaualgen	45%
		Biomasse Kieselalgen	7%

**Abbildung 4.9** Entwicklung der Gewässergüte für ausgewählte Gebiete unter ausgewählten Szenarien. S0 Wandel=Flutung der Tagebaurestseen gemäß der derzeitigen Planungen; S1 Wandel=Oderwasserüberleitung über die derzeitigen Kapazitäten hinausgehend. Quelle: Eigene Darstellung nach RACHIMOW et al., 2005

Das Absinken des Durchflussvolumens hat eine Reihe weiterer Auswirkungen; bereits bei einer Abflussreduktion von  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  nimmt die Sedimentationsrate bei sommerlichen Bedingungen um etwa 10 % zu, führt zur Verschlammung der Gewässersohle und verstärkt den Sauerstoffmangel. Diese Problematik verhindert die Wiederbesiedlung von für die Spree charakteristischen Fischarten wie Barbe und Quappe. Der verminderte Durchfluss hat aber auch weitere ökologische Konsequenzen, vor allem die Trockenschäden der Flussauen durch fallende Grundwasserspiegel und dem damit zusammenhängenden Austrocknen der Niedermoore und den bereits weiter oben beschriebenen Folgen, wie dem Verlust ihrer Nährstoff- und Wasserspeicherfähigkeit (KÖHLER & PUSCH, 2002).

#### 4.4 Mögliche Anpassungsstrategien

Gerade im Wassersektor ist die Anpassung an zukünftige Klimaänderungen wichtig, da das Wassermanagement nicht nur in Extremsituationen wie Überschwemmungen oder Niedrigwasser greifen, sondern vielmehr eine Balance zwischen Nachfrage und Angebot schaffen muss, um für Forst- und Landwirtschaft, Industrie, Schifffahrt, Tourismus, Privathaushalte und Ökosysteme eine ausreichende Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität zu gewährleisten. Aufgrund der vielfältigen Wechselwirkungen der Wassernutzung unterschiedlicher Akteure und ihrer Bedürfnisse ist die Einbeziehung aller Akteure in die Beratung und Umsetzung der Bewirtschaftungs- und Maßnahmenplanung über Landes- und administrative Grenzen hinweg notwendig. Konflikte, wie beispielsweise der Ausbau der Beregnungsinfrastruktur im Haveleinzugsgebiet trotz sinkender Grundwasserspiegel und damit zusammenhängender Schäden von Feuchtgebieten (BENDER & SCHÄFER, 2007), werden sich unter den Auswirkungen des Klimawandels sonst weiter verschärfen.

Grundsätzlich sollten die Grundfunktionen und Selbstregulierungsmechanismen der Flusssysteme gefördert bzw. wiederhergestellt werden. Ursprünglich war der Rückhalt von Wasser und Nährstoffen in der Landschaft sehr wirksam; die Extensivierung der Landnutzung in Auen und Uferbereichen sowie Schutz und Revitalisierung der Niedermoore spielen deshalb sowohl hinsichtlich der Verbesserung der Gewässerqualität als auch -verfügbarkeit eine wichtige Rolle. Die Möglichkeiten und Auswirkungen der Reaktivierung von trockengelegten Feuchtgebieten sind Inhalt zahlreicher Studien (z.B. LIPINSKI & KIEL, 2007; GEISSBÜHLER, 2000, JOOSTEN, 2006) und (Forschungs-)Projekte. Moore haben in vielerlei Hinsicht eine wichtige Funktion; sie sind bedeutende Stoffspeicher für Elemente wie Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und andere; aus durchströmendem Wasser filtern sie Nährstoffe und tragen so wesentlich zur Verbesserung der Wasserqualität bei. Auch aus monetärer Sicht ist die Reaktivierung von Feuchtgebieten eine kostengünstigere Alternative zur Nährstoffretention im Vergleich zur ausschließlichen Reduktion der N-Bilanzüberschüsse in der Landwirtschaft, wie GROSSMANN & BEHRENDT (2008) nachweisen. Feuchtgebieten kommt zudem bei der Regulierung des Landschaftswasserhaushaltes eine wichtige Funktion zu, da sie für die Landschaft als Wasserspeicher dienen. Ihre bodenphysikalischen Eigenschaften regulieren die Abflussmengen; Hochwasserspitzen werden gekappt und Niedrigwasserstände erhöht. Diese Funktionen sind besonders vor den in *Kapitel 2.3* aufgezeigten zu erwartenden Entwicklungen der Extremereignisse im Berliner Raum relevant. Zudem tragen Moore in trockenen und überhitzten Landschaften zur Verbesserung des Regionalklimas bei. Im Sinne des Naturschutzes bedeuten die Feuchtgebiete für Flora und Fauna wertvolle Lebensräume, die teilweise ausschließlich in Mooren vorkommen (LANDGRAF & SCHULZ-STERNBERG, 2001).

#### 4.4.1 Gewässergüte

Zur Verbesserung der Gewässergüte existiert eine Reihe von Handlungsoptionen, die auf die Reduktion der Phosphor(P)- und Stickstoff(N)-Einträge und -Frachten setzen. Zur Reduzierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge ist die Optimierung kommunaler Klärwerke zur Einhaltung der gesetzlichen Mindestanforderungen im Ablauf als grundlegende Maßnahme zur Erreichung der Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie geboten. Darüber hinaus sind weitergehende Maßnahmen zur Reduzierung der punktuellen und diffusen Einträge in Diskussion. Für das gesamte Elbeinzugsgebiet wurde die Möglichkeit der Verringerung der Nährstofffrachten nachgewiesen; demnach kann die Gewässerbelastung mit Phosphor bis 2020 um 60 % und Stickstoff um mehr als 35 % verringert werden. Notwendige Maßnahmen umfassen die Ausstattung der Kläranlagen mit zusätzlichen Verfahrensstufen zur P- und N-Eliminierung und den Anschluss von Siedlungen ohne Kläranlage. Generell gilt, dass die Kosten der Maßnahmen mit zunehmendem Umfang stark ansteigen. Aber auch mit vergleichsweise geringem Kostenaufwand lassen sich bereits gute Ergebnisse erzielen (BEHRENDT & GROSSMANN, 2008). BILLEN & AURBACHER (2007) zeigen in Feldversuchen, dass durch das Anlegen von Ackerrandstreifen die Gewässer vor Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleinträgen teilweise geschützt werden können. Der Erosionsschutz spielt eine wichtige Rolle, denn bei der zu erwartenden Zunahme von Starkniederschlagsereignissen und Trockenperioden kann mit einfachen Methoden das Retentionsvermögen der Böden verbessert werden. Auch die Mulchsaat, die den ungebremsten Oberflächenabfluss verhindert und die Infiltrationseigenschaften des Bodens verbessert, oder die temporäre Untersaat durch Stabilisierung der Bodenteilchen sind in diesem Zusammenhang wirksame Maßnahmen. Eine weitere Verringerung der Stoffeinträge kann durch Maßnahmen zur Verminderung der Stoffausträge urbaner

Flächen oder den Bau oder Ertüchtigung von Speicherräumen im Mischkanalsystem erreicht werden.

#### **4.4.2 Wasserverfügbarkeit**

Die sich unter den Bedingungen des Klimawandels potenziell verschärfenden Nutzungskonflikte aufgrund abnehmender Wasserverfügbarkeit, primär in den Sommermonaten, können nicht aufgelöst werden. Sie lassen sich jedoch durch unterschiedliche Handlungsstrategien entschärfen, sind aber auch zum Teil mit erheblichen Kosten und ökologischen Nachteilen verbunden. Bereits 2005 wurde im Rahmen des Projektes *Glowa-Elbe* eine Reihe von Handlungsstrategien diskutiert, die Nutzungskonflikte hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit entschärfen könnten. Einige dieser Strategien wurden bereits wieder verworfen, wie beispielsweise die Priorisierung der Flutung der Tagebauseen aufgrund von bestehenden Wasserrechten. Als Handlungsoptionen zur Entschärfung der Wasserverfügbarkeitsproblematik im Elbeeinzugsgebiet unter Klimaveränderungen werden in Form von Szenarien die Überleitung von Oderwasser nach Berlin, die Oderwasserüberleitung über die Malxe, die Elbwasserüberleitung in die Einzugsbereiche der Schwarzen Elster und der Spree sowie eine intensivere Nutzung der Feuchtgebiete fachlich diskutiert (vgl. BEHRENDT & GROSSMANN, 2008; KALTOFEN et al., 2005). Im Vordergrund aktueller Forschungen steht jedoch eine ökonomische Kosten/Nutzen-Betrachtung, die beispielsweise einen Aspekt wie den ökologischen Mindestabfluss nicht weiter analysiert.

## 5 Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft

### 5.1 Einleitung

Die landwirtschaftliche Produktion ist einerseits als Nutzer natürlicher Ressourcen direkt vom Klimawandel betroffen, und andererseits trägt sie durch Freisetzung klimaschädlicher Gase (CO<sub>2</sub>, Lachgas und Methan) nicht unwesentlich zur Klimaproblematik bei. Ein relativ neuer Aspekt ist der Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Substitution nicht-erneuerbarer Energieträger als ein Beitrag zur Emissionsvermeidung.

In den letzten Jahrzehnten führten Fortschritte in der Agrotechnik und Pflanzenzüchtung zu erheblichen Produktivitäts- und Ertragssteigerungen. Dies ermöglichte die Ausweitung des Anbaus von Nutzpflanzen auf Grenzstandorte, d. h. auch Flächen mit begrenzten Produktionsfaktoren (Wasser, Nährstoffe etc.) wurden in die Produktion genommen. Jedoch bleiben Bodenbeschaffenheit, Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit sowie Klima elementare Faktoren für die landwirtschaftliche Produktion.

#### Einflussfaktoren allgemein

Die heute gängige Praxis der intensiven Landbewirtschaftung mit Hochertragsorten ist besonders anfällig gegen Extremereignisse zu ungünstigen Zeitpunkten, weshalb der zeitlichen Verteilung des Wetter- bzw. Klimaverlaufs innerhalb der Vegetationsperiode ebenfalls eine hohe Bedeutung zukommt. Während sich die Wahrscheinlichkeit von Extremereignissen über das mehrjährige Mittel noch gut prognostizieren lässt, ist der Eintrittszeitpunkt kaum vorherzubestimmen (ZEBISCH et al., 2005)<sup>11</sup>.

In der aktuellen Diskussion zum Klimawandel unterscheidet man in temperatur- und niederschlagslimitierte Standorte. Parameter sind dabei sowohl Schwellenwerte (Keimung, Vernalisation) als auch Summenwerte (Temperatursumme, Jahresniederschlag).

Temperatur im Jahresverlauf und -durchschnitt, Niederschlagshöhe und -verteilung, Sonnenscheindauer und CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre sind die wesentlichen klimatischen Faktoren, welche sich auf das Wachstum und den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen und die Wechselwirkungen agrarischer Ökosysteme auswirken. In Ostdeutschland liegt das Ertragsniveau aufgrund ärmerer Böden (niedrige Ackerzahlen, im Durchschnitt 30-35)<sup>12</sup>, der geringen Wasserspeicherkapazität und dem kontinentaleren Klima mit deutlichen Sommer-trockenheiten generell niedriger als im Bundesdurchschnitt (WIGGERING et al., 2005).

Ertragsbegrenzend wirkt vor allem die Wasserverfügbarkeit, und dies besonders bei den Kulturen Zuckerrübe und Winterweizen. Die Vulnerabilität (Verwundbarkeit) des regionalen Ökosystems ist in Nordostdeutschland besonders hoch, bis zu 40 % der Flächen gelten als dürrefährdet (ZEBISCH et al., 2005). In Ostdeutschland sind geringe Niederschläge, die niedrige Grundwasserneubildung und die Gefahr von Dürren im Sommer ausschlaggebend für die hohe Vulnerabilität (vgl. auch HATTERMANN et. al., 2007). Die schon aktuell ungünstige klimatische Wasserbilanz wird durch die bereits zu beobachtende und weiter zu erwartende

---

<sup>11</sup> Regen mit 10 – 20 mm pro Tag bei sinkender Gesamtniederschlagshöhe um fast 10 % häufiger (WECHSUNG et al. 2005)

<sup>12</sup> Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Reihe Landwirtschaft, Band 6 (2005) Heft 1

Abnahme der Jahresniederschläge (insbesondere der Sommerniederschläge) und steigende Verdunstung weiter verschlechtert (WILMS et al., 2006). Wärmesummen sind bei den Blattfrüchten Mais und Zuckerrübe wachstumslimitierende Faktoren.

### Die Sommertrockenheit 2003

Der trockene Sommer 2003 führte in Brandenburg und Sachsen zu erheblichen Einbußen bei Wintergetreide (30-40 %)<sup>13</sup>, die deutlich über dem Bundesdurchschnitt lagen. Besonders hoch waren die Ertragsverluste 2003 im Grünland, wo es im Bundesdurchschnitt zu Abweichungen von 20 % des langjährigen Mittels kam. Bei Weinbau, Obstbau und Weizen wurden dagegen durch die Sommertrockenheit die Qualitätsparameter gesteigert. Während sich die Verluste im Jahr 2006, als es ebenfalls einen extrem trockenen Sommer gab, bei Winterungen auf leichten Standorten in Grenzen hielten, waren Sommergetreide (über 10 %) und besonders Mais (über 15 %) hier stark betroffen, da die Hitzeperiode erst im Juli einsetzte.

In der Milchviehhaltung in Deutschland machte sich der Jahrhundertssommer 2003 nicht im Jahresergebnis bemerkbar. Allerdings wurden kurzzeitige Effekte in Form verringerter Futtermittelaufnahme und daraus folgendem Rückgang der Milchleistung im Juli festgestellt (FISCHER et al., 2005). In Frankreich und Spanien waren dagegen deutlichere Verluste in der Milchvieh- und Schweinehaltung festzustellen.

Forschungen zu veränderten Qualitätseigenschaften lassen sich für die in Deutschland angebauten Kulturen kaum finden (WEIGEL & SCHALLER, 2007: 112ff). Die sich ändernden Umweltparameter sind Temperatur, CO<sub>2</sub>-Gehalt, O<sub>3</sub>-Gehalt und Niederschlag. Wesentlich für die Interpretation ist die Unterscheidung zwischen sogenannten C3-Pflanzen (Getreide, Ölsaaten) und C4-Pflanzen (z.B. Mais, Hirse), da diese einen unterschiedlichen Photosyntheszyklus haben.

## **5.2 Ausgewählte Klimawirkungen in der Landwirtschaft**

### **5.2.1 Auswirkungen einer Temperaturerhöhung**

Eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur hat den Effekt, dass sich der Anbau bestimmter Kulturen oder Sorten in bestimmte geographische Breiten ausdehnen kann oder auch in Höhenlagen möglich wird (Verschiebung von Vegetationszonen). Dies ist begründet in dem regionalen Anstieg der Durchschnittstemperaturen (Sommer und Winter) und der jährlichen Temperatursumme. So wird sich der (Körner-)Maisanbau in Nord-Deutschland weiter ausbreiten, die Anbaumöglichkeiten für Sommergetreide nach Norden verschieben, und evtl. wird der Anbau von Wein und exotischen Obstsorten (z.B. Kiwi, Aprikosen) in nördlicher gelegenen Regionen lukrativ.

Allgemein steigt durch eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur das Ertragspotenzial der Standorte unter sonst gleichen Bedingungen. Bei ohnehin standortgeeigneten nicht-determinierten Kulturpflanzen<sup>14</sup> ist daher zukünftig mit höheren Wachstumsraten zu rechnen (IPCC 2001b). In diesem Fall können nun andere Wachstumsfaktoren zum Engpass werden. Dies kann je nach Boden ein Nährstoff (P, N oder K) sein oder die Wasserverfügbarkeit. Für Nordostdeutschland und besonders die trockenen Standorte in Berlin/Brandenburg ist davon auszugehen, dass die Wasserverfügbarkeit die Erträge begrenzen wird oder es sogar

<sup>13</sup> BMVEL-Statistik, Reihe: Daten-Analysen, Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung (BEE) 2003

<sup>14</sup> hier: Pflanzen, deren Erreichen von Entwicklungsstadien nicht von Temperatursummen abhängt

durch Trockenstress zu Ertragsminderungen von bis zu 14 % bei Getreide kommt (EULENSTEIN et al., 2007). Dies liegt auch an dem vorhergesagten Rückgang der Niederschläge im Sommer und Herbst sowie nur einer moderaten Zunahme der Winterniederschläge (KÜCHLER, 2007). MIRSCHEL et al. (2005) schätzen den Einfluss von geringer Bodenfeuchte in trockenen Sommern bei der Grünfütterproduktion (Klee gras) für Standorte in MOL auf Verluste von etwa 13 %.

Da jede Pflanzenart bzw. landwirtschaftlich genutzte Kultur ihr spezifisches Temperaturoptimum hat, welches in einem relativ engen Spektrum liegt, kann eine Temperaturerhöhung bei durch Temperatursummen determinierten Arten zu Ertragseinbußen führen. Dies zeigt sich bereits jetzt durch ein Nord-Süd-Gefälle der Weizenerträge in Europa bzw. Deutschland (DEFRA, 2000; FRANZARING et al., 2007). Insbesondere Temperaturerhöhungen in den letzten Phasen vor der Erntereife können auch negative Auswirkungen auf die Produktqualität haben. Dies betrifft vor allem Getreide in der Kornfüllungsphase, sowie den Zuckergehalt bei Rüben und Ölgehalt bei Raps.

### Verlängerte Vegetationsperiode

Mehrere Studien haben bereits die Verlängerung der Vegetationsperiode durch Vorverlegung phänologischer (vegetativer) Phasen ins Frühjahr untersucht (HENNIGES et al., 2005, CHMIELEWSKI et al., 2004). Generell kann von einer Verschiebung des Frühjahrs um 2-3 Tage je Dekade gerechnet werden, betrachtet man die Entwicklung seit den 1970er Jahren (CHMIELEWSKI & KÖHN, 1999). Eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur um 1 Grad wird in Europa etwa zu einer Verlegung des Vegetationsbeginns um eine Woche führen.

Die Spätfrostdgefahr bleibt allerdings bestehen, so dass auch ein steigender Risikofaktor prognostiziert wird. Diese höheren Temperaturen im Herbst und Winter bringen diverse Gefahren (Auswintern, fehlende Frostgare, unzureichende Vernalisation, höhere Anfälligkeit) mit sich (ROSENZWEIG & HILLEL, 1998a).

### Hitze- bzw. Trockenstress

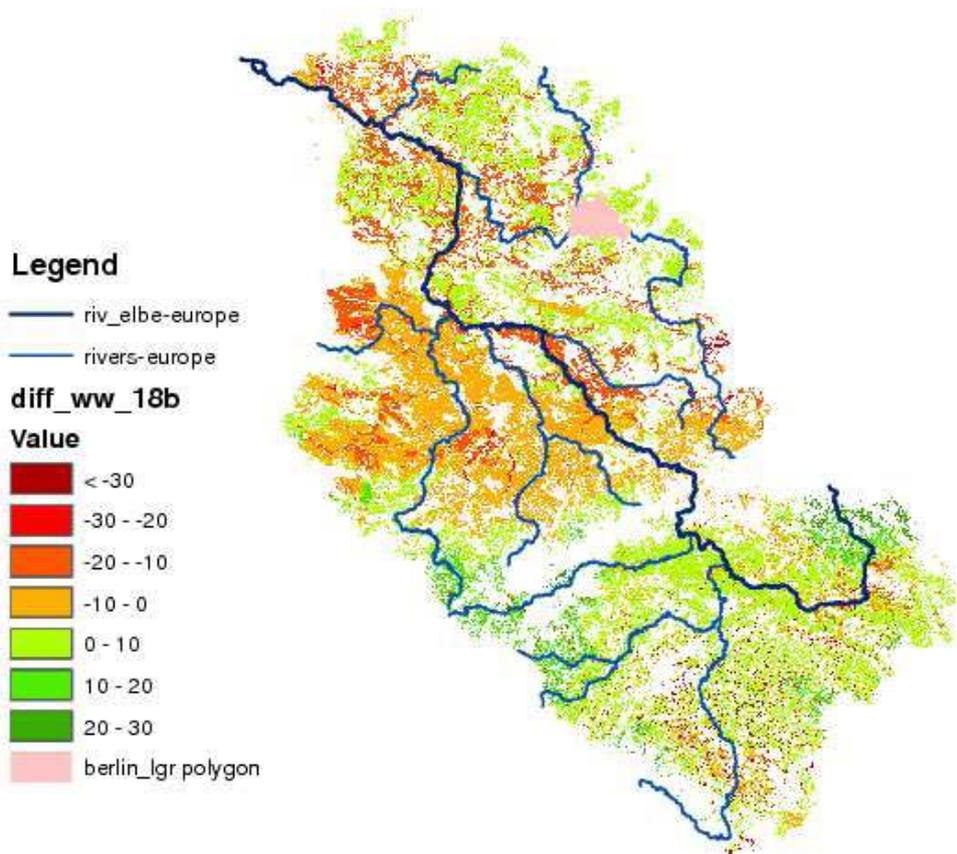
Hitzestress bei Pflanzen tritt auf, wenn aufgrund von Wassermangel und hoher Temperatur die Pflanzenatmung zurückgefahren wird. Zu hohe Temperaturen führen zum Schließen der Blattöffnungen (Stomata) und begrenzen somit die Assimilation und in deren Folge den Ertrag. Neben der Temperatur spielen Wind und die Strahlung eine wichtige Rolle, da diese die Luft- und Bodenfeuchtigkeit ebenfalls reduzieren. Dabei sind neben den Blättern auch die Wurzeln sehr temperatursensibel (ROSENZWEIG & HILLEL, 1998a). Die Temperaturtoleranz ist zwischen den Pflanzenarten und Sorten jedoch sehr unterschiedlich<sup>15</sup>.

Kulturart	Temperatursummen °C
Winterweizen	1900-2500
Wintergerste	1700-2100
Sommergerste	1750
Silomais	1550
Zuckerrüben	2900

<sup>15</sup> allgemein Temperaturoptimum bei C3: 10-25 °C, bei C4: 30-45 °C; max. Netto-Photosynthese bei Winterweizen 17-23 Grad, Mais 18-25 Grad

Neben dem artenspezifischen Temperaturoptimum sind Nutzpflanzen auch in bestimmten Entwicklungs- und Wachstumsphasen besonders anfällig für Temperaturextreme mit Auswirkungen auf die Ertragsleistung (z. B. Getreide oder Kartoffeln (FRANZARING et al., 2007)). Dies betrifft vor allem generative Stadien der Pflanzenentwicklung so z. B. die Blütenbildung bei Getreide. In Mitteleuropa nimmt nach CHMIELEWSKI & KÖHN (1999) die Hitzesensibilität von Hafer über Gerste, Roggen, und Weizen ab.

WIGGERING et al. (2005) stellen dar, dass sich die Trockenheitsgefährdung in Ostdeutschland wesentlich verschärfen wird und bilden u. a. die regionale Verteilung der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) ab (in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern auf 85 % der Fläche unter 140 mm, ebd: 9). Für Brandenburg wird für 2051-2055 im Frühsommer auf über 40 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche eine sehr hohe Trockenheitsgefährdung prognostiziert (ZEBISCH et al., 2005). Ertragsschätzungen modellieren für Standorte im Landkreis Märkisch Oderland Verluste von etwa 14 % für Kartoffeln bzw. 5 % für Getreide ohne CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt. Berücksichtigt man den kompensierenden CO<sub>2</sub>-Effekt, betragen die Verluste bei Kartoffeln noch maximal 10 %, bei Getreide kann es zu leichten Ertragszuwächsen kommen (MIRSCHERL et al., 2005).



**Abbildung 5.1** Berechnung der Ertragsveränderungen für Winterweizen im Elbeinzugsgebiet. Vergleich 1961–1990 (Referenz) zu 2021–2050 (Klimaszenario). Quelle: HATTERMANN et al. 2007

### Qualitätsveränderungen

Neben Auswirkungen durch Hitzestress sind negative Veränderungen in der Qualität der Ernteprodukte durch geringere Unterschiede der Tages- und Nachttemperaturen zu erwarten:

- Weizen: Zunahme des Stickstoffgehalts im Korn
- Zuckerrüben: erhöhter Stickstoffgehalt behindert Kristallisation
- Raps: Rückgang des Ölgehalts
- Gemüse und Salate: vorzeitiges Schossen
- Kohlsorten: verfrühte Blütenbildung

### **5.2.2 Auswirkungen der erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration**

Der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration wird als ein für das Pflanzenwachstum begünstigender Faktor gesehen. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration hat wesentlichen Einfluss auf die Netto-Photosyntheserate der C3-Pflanzen. Bei der Betrachtung zukünftiger Klimaveränderungen spricht man verbunden mit einem prognostizierten Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration<sup>16</sup> vom CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt (IPCC, 2007a). Bei vielen Kulturpflanzen steigt auch das Temperaturoptimum (maximaler Photosyntheseleistung) mit zunehmender CO<sub>2</sub>-Konzentration. Allgemein wird bei den verschiedenen Modellen bis 2050 mit einem Anstieg auf etwa 550 ppm gerechnet (LONG et al., 2004).

Ähnlich wie unter künstlich erhöhten Bedingungen im Gewächshaus ist mit einer effizienteren Nutzung der „Inputfaktoren“ Nährstoffe, Licht, Wasser durch die einzelne Pflanze zu rechnen. Die macht sich sowohl quantitativ in Wachstum bzw. Ertrag und qualitativ in der veränderten Zusammensetzung (Proteine, Kohlehydrate etc.) bemerkbar. Somit sind als wesentliche Effekte einer erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre feststellbar:

- Verminderter Wasserbedarf und geringere Sensibilität gegen Trockenstress
- Ertragszuwächse durch den sog. Düngeeffekt
- Veränderung der Pflanzenqualität durch veränderte Zusammensetzung der Inhaltsstoffe

### Wasserbedarf der Pflanzen/Transpiration<sup>17</sup>

Ein höherer CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Umgebungsluft reduziert die Wasserleitfähigkeit in den Pflanzen und damit die Atmung/Transpiration an der Pflanzenoberfläche, wenn gleichzeitig die Photosynthese durch höhere Temperaturen verstärkt stattfindet. Es könnte so ein verminderter Wasserverbrauch des Pflanzenbestandes als Folge auftreten.

Dieser Effekte wird eventuell (teilweise) kompensiert durch eine verminderte Wärmeabgabe unter diesen Bedingungen und daraus resultierende höhere Blatt- bzw. Bestandestemperaturen (DRAKE et al., 1997). Ob sich die bei einzelnen Pflanzen messbaren Effekte auch addieren und so auf einem Schlag oder gar auf Landschaftsebene zu Veränderungen führen, ist von weiteren Faktoren abhängig, weshalb nach derzeitigem Wissensstand keine generellen Aussagen für die Praxis möglich sind.

<sup>16</sup> auf etwa 500 ppm in 2050 und bis zu 700 ppm in 2080 je nach Szenario

<sup>17</sup> Transpiration=Wasserverlust (der Pflanze), Evapotranspiration=zuzüglich Bodenverdunstung, abhängig von z. B. Bodenbedeckung, Bodenbearbeitung, Durchwurzelung, biol. Bodenaktivität usw.

### Erhöhte Biomasseproduktion

Erhöhtes Pflanzenwachstum durch CO<sub>2</sub>-Erhöhung in der Atmosphäre bedeutet vor allem Ertragszuwächse durch höhere Biomasse des Sprosses (Stamm und Stengel), Vergrößerung von Blättern und Wurzeln sowie deren erhöhte Anzahl. Letzteres trifft ebenfalls für Blüten und Früchte zu. Tendenziell zeigen Versuche ein erhöhtes Wurzel-Spross-Verhältnis, also eine Zunahme der Wurzelmasse relativ zur Biomasse des Sprosses (ROSENZWEIG & HILLEL, 1998a). Für den Ernteindex<sup>18</sup> von Getreide lassen sich aus den wenigen vorliegenden Untersuchungen keine eindeutigen Aussagen machen. Positive Ertragseffekte sind für Kulturen mit unterirdischen Organen, also Zuckerrübe oder Kartoffel, zu erwarten. Bei Gemüse ist allgemein eine Vergrößerung von Knollen, Rüben oder Wurzelteilen im Verhältnis zu Stengel und Blättern festzustellen. WEIGEL (2004) zeigt sehr deutlich, dass wesentliche Unterschiede zwischen den Getreidesorten bestehen. Im Wesentlichen werden frühere Aussagen bestätigt, die Ertragszuwächse von durchschnittlich ca. 30 % bei Getreide in verschiedenen CO<sub>2</sub>-Anreicherungsversuchen in Klimakammern darstellten. Unter Freilandbedingungen, also in Feldversuchen nach dem FACE-Prinzip<sup>19</sup> konnten derartige Zuwächse allerdings noch nicht erzielt werden. Im Versuch ermittelten z. B. LONG et al. (2004) Werte von +11 % für C3-Pflanzen.

Deutliche Ertragssteigerungen konnten bei Versuchen mit Kartoffeln durch höhere Knollenzahl und höheres Knollengewicht festgestellt werden (FINNAN et al., 2005). Allerdings zeigt sich ein weites Spektrum in den Versuchsergebnissen von 3-50 %, was auf verschiedene Sorten und Anbauverfahren zurückzuführen sein dürfte. Mit einer höheren Ertragssteigerung als bei Getreide dürfte bei Leguminosen durch die CO<sub>2</sub>-Anreicherung zu rechnen sein.

Für Grünland weist u.a. FUHRER (2007) in der Schweiz zwischen 7 % für Gräser und bis zu 20 % für Kleesorten im Experiment nach. Dies war wesentlich von der Stickstoffversorgung abhängig (vgl. auch WEIGEL et al., 2006; KAMMANN et al., 2005).

Eine Korrelation von CO<sub>2</sub>-Konzentration und Wasserversorgung konnte bei Getreide festgestellt werden: bei niedrigem Ertragsniveau durch Trockenheit zeigen mit CO<sub>2</sub> „gedüngte“ Pflanzen einen deutlich höheren Ertrag als „nicht-gedüngte“ Kulturen, was den Wasserspar-Effekt (s. o.) bestätigt.

### Veränderungen der Produktqualität

Durch erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen lassen sich in den meisten Studien Veränderungen der Pflanzeninhaltsstoffe beobachten. Dies betrifft neben einem reduzierten Stickstoffgehalt auch eine Verminderung der Vitamingehalte, Spurenelemente wie Magnesium sowie von Proteinen (bei Gräsern) und sekundären Inhaltsstoffen (z.B. Phenole). Erhöhte Konzentrationen sind für den Kohlehydratanteil und Flavonoide festzustellen (FANGMEIER et al., 2002; NIKLAUS, 2007).

#### **5.2.3 Auswirkungen von erhöhtem Ozongehalt**

Für troposphärisches Ozon als sekundärer Luftschadstoff gilt in Europa ein Grenzwert von 40 ppb (AOT-40), der sowohl im Frühjahr und vor allem im Sommer häufig überschritten wird (Sommersmog). Für das Pflanzenwachstum ist entscheidend wieviel Ozon durch die Blattöff-

<sup>18</sup> Verhältnis oberirdische Biomasse zu Biomasse der geernteten Pflanzenteile (z. B. Getreide- oder Maiskörner, Ölsamen)

<sup>19</sup> FACE = Free Air Carbondioxide Enrichment

nungen aufgenommen wird. So treten die höchsten Aufnahme­raten unter warmen humiden Bedingungen in Südkandinavien bzw. auf bewässerten Flächen im Mittelmeerraum auf.

BENDER & WEIGEL (2002) haben deutliche negative Korrelationen der Ozonexposition mit dem Getreideertrag nachgewiesen, FRANZARING et al. (2007) bei Zuckerrüben. Auch Leguminosen und Soja gelten als empfindlich gegen erhöhte Ozonkonzentrationen (u. a. LONG et al., 2005). Besonders zu beachten ist, dass die meisten Ertragsmodelle zur Erforschung des Klimawandels die Auswirkungen erhöhter Ozonkonzentration bisher nicht berücksichtigen (LONG et al. 2005). Nach dem IPCC (BAU) Szenario 2050 ist mit ca. 70 ppb zu rechnen.

Neben deutlichen Ertragseinbußen ist mit qualitativen Veränderungen in Grünlandvegetationen durch Verdrängung von Kräuterarten, Blattnekrosen bei Gemüse und Veränderungen der Getreidequalitäten (Stickstoff- und Kohlehydratgehalte) zu rechnen (vgl. KRUPA & JAGER, 1996). Auch mit starken indirekten Wirkungen durch geschwächte Pflanzen ist nach BENDER & WEIGEL (2002) zu rechnen. Insgesamt sind qualitative Effekte bisher aber kaum erforscht.

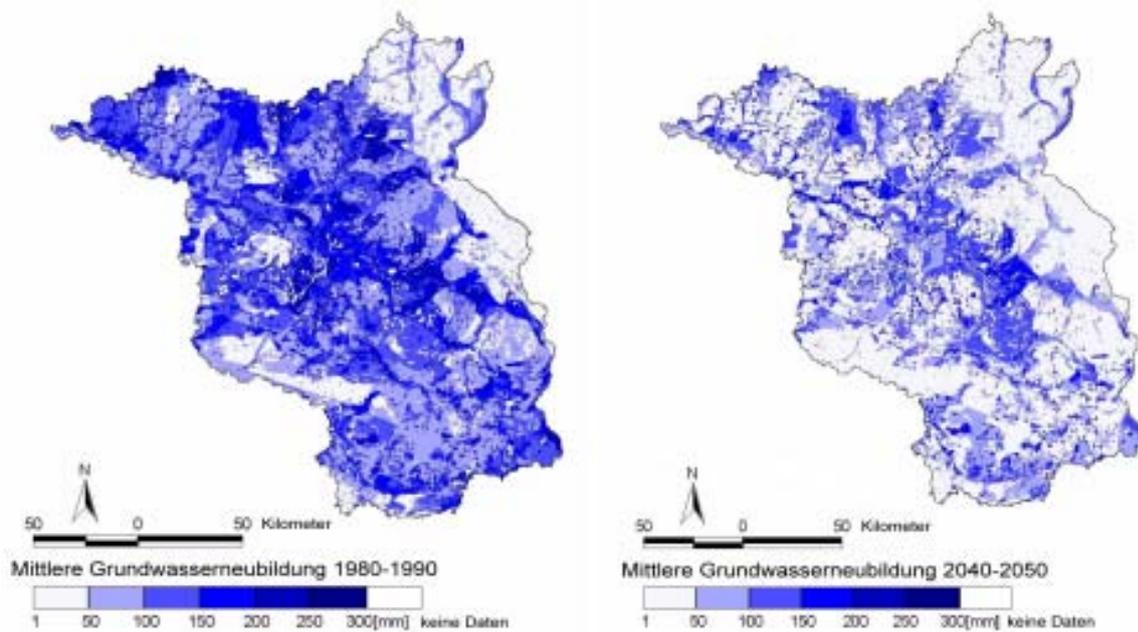
#### 5.2.4 Auswirkungen der UV-B-Strahlung

Die höhere UV-Strahlung wird von Proteinen, Enzymen und Nukleinsäuren in den Pflanzen absorbiert und „bremst“ so die Photosyntheseprozesse (sog. inhibierende Wirkung). C4-Pflanzen und Kräuter/Leguminosen reagieren bisher weniger empfindlich auf erhöhte Strahlungsintensitäten. So sind Mais und Weizen als tolerant bekannt, alle anderen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in Europa werden als mehr oder weniger empfindlich eingestuft. Die Sensibilität von einjährigen Kulturen auf erhöhte Strahlungswerte ist dabei anders einzuschätzen als von mehrjährigen Kulturen. Das genaue Ausmaß der Reaktionen ist bisher weder für einzelne Kulturen noch für bestimmte Sorten genau abzuschätzen, insbesondere wegen unterschiedlicher Reaktionen der Pflanzen. Neben Ertragsverlusten könnten Qualitätsschäden z.B. durch Verbrennung oder erhöhten Schädlings- und Krankheitsbefall auftreten. Hier sind weitere Praxisversuche abzuwarten, um differenzierte und belastbare Aussagen für eine Anbauregion treffen zu können.

#### 5.2.5 Auswirkungen veränderter Niederschlagsverhältnisse

Änderungen des Niederschlages sind regional sehr unterschiedlich, und Trendaussagen hierzu sind mit großen Unsicherheiten behaftet. Klimatische Veränderungen wirken sich über die Grundwasserneubildung direkt auf die Grundwasserstände und Abflüsse in den Fließgewässern aus. Nicht nur, aber besonders in Nordostdeutschland ist aufgrund der dortigen Bodentypen der Wasserhaushalt (Niederschlag, Verdunstung, Bodenwasser, Grundwasser) ein besonders wichtiger Produktionsfaktor (WECHSUNG et al., 2005; HATTERMANN et al., 2007). Die Verdunstung ist dabei wesentlich von der Temperatur abhängig. Durch Abnahme der Niederschläge und Absenkung der Grundwasserspiegel ist besonders auf Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität die landwirtschaftliche Produktion stark gefährdet (GERSTENGARBE et al., 2003).

Bei Wassermangel im Frühjahr kommt es zu Ertragsverlusten, da ein Teil der ausgesäten Pflanzen gar nicht zur Keimung oder darüber hinaus kommt. Vermehrte Niederschläge im Winterhalbjahr dürften dagegen in Brandenburg keine negativen Auswirkungen haben (UBA, 2007). Für die Abschätzung der Wirkungen in Abhängigkeit von der Niederschlagsverteilung als auch von Starkregenereignissen fehlt es bisher an belastbaren Studien für Deutschland.



**Abbildung 5.2** Änderung der Grundwasserneubildung in 2040-2050 im Vergleich zur Referenzsituation. Quelle: GERSTENGARBE et al. 2003

### 5.2.6 Kombination der verschiedenen Klimaeffekte

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass fast alle Aussagen zu Folgewirkungen des Klimawandels auf Land- und Forstwirtschaft lediglich monokausale Wirkungen untersuchen (vgl. SAG, 2007). Deshalb bestehen bei allen Ertragsmodellen große Unsicherheiten in der Ergebnisinterpretation, fehlt es doch an der Berücksichtigung von kompensierenden oder verstärkenden Effekten bei gleichzeitiger Veränderung mehrerer Umweltvariablen (Temperatur, Gase, Wasser, Schädlinge). Lediglich die Wechselwirkungen von CO<sub>2</sub> und Temperaturerhöhung sind in einigen Studien erfasst (u. a. GERSTENGARBE et al., 2003).

Für einige Kulturenarten kann – je nach Sorte – von einer Kompensation der Temperaturwirkung durch die CO<sub>2</sub>-Düngung im Hinblick auf das Pflanzenwachstum ausgegangen werden. Diese Wirkung ist allerdings auf die generativen Phasen der Pflanzenentwicklung einzuschränken. Der zusätzliche Effekt einer höheren Ozonkonzentration wurde in zwei Feldstudien erfasst (BENDER et al., 1999). Der Schutzeffekt der CO<sub>2</sub>-Konzentration war dabei relativ schwach bei Getreide und Kartoffeln feststellbar. Weiterhin gibt es Hinweise, dass der CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt durch den Ozonanstieg gemindert wird.

### 5.2.7 Wirkungen auf Bodenprozesse

Von den sich verändernden klimatischen Faktoren beeinflussen hauptsächlich Temperatur (Strahlung) und Niederschlag den Boden. Sie bestimmen auf agrarisch bewirtschafteten Flächen maßgeblich dessen Nutzbarkeit. Das Gesamtgefüge aus sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren wie z. B. Temperatur, Wasserverfügbarkeit, Bodenbedeckung, Gasaustausch, bodenbiologische Aktivität, organische Bodensubstanz und Nährstoffverfügbarkeit ist sehr komplex. So beeinflusst beispielsweise die Bodenbedeckung dessen Erwärmung und Wasserverlust (Evapotranspiration), und unter sonst gleichen Bedingungen führt eine höhere Bodentemperatur zu einer höheren bodenbiologischen Aktivität, d.h. Umsetzungsrate organischer Substanz.

Auf humusarmen Brandenburger Standorten ist bei erwarteten verlängerten Trockenperioden und höherer Temperatur insgesamt mit einer Verringerung des Ertragspotenzials zu rechnen. Eine Verschlechterung der Bodenstruktur (Verdichtung, Erodierbarkeit) lässt ferner auch eine Verminderung des Wasserrückhalts (verstärkte Winterniederschläge) in der Landschaft erwarten.

### 5.2.8 Schädlinge und Krankheiten

Hier sind ebenfalls direkte Wirkungen auf die Insekten als auch indirekte Effekte über Veränderungen der Agrarökosysteme zu berücksichtigen.

Relevant sind die fressenden und saugenden Insekten. Wichtige Einflussgrößen für das Auftreten von Schadinsekten ist ihr (potenzielles) Verbreitungsgebiet, Vorkommen der Wirtspflanze und Häufigkeit des Habitattyps. Bei unverändertem Anbauregime könnten durch Zunahme des Schädlingsdrucks Ertragsverluste bis zu 20 % auftreten (ROSENZWEIG & HILLEL, 1998b; FREIER, 2004). Besonders die Temperaturerhöhung wirkt sich auf das Wachstum und die Vermehrung positiv aus, so dass mit mehr Generationen innerhalb eines Jahres zu rechnen ist. Durch die milderen Winter ist eine bessere Überwinterung frostempfindlicher Insekten zu erwarten, und besonders Wurzelparasiten werden begünstigt (vgl. BfN 2004).

Besonders in trockenen Regionen wie Brandenburg könnte in Zukunft eine Zunahme von Schädlingspopulationen auftreten, wie der Sommer 2003 in einigen europäischen Regionen schon zeigte (vgl. SCHRÖDER et al., 2006).

Die veränderte Zusammensetzung der Pflanzeninhaltsstoffe infolge CO<sub>2</sub>-Düngung kann die Schädigung durch Insekten sowohl vermindern (Flavonoide) als auch stimulieren (Kohlehydrate).

Während für den Maiszünsler eine deutliche Ausdehnung des Vorkommens bis nach Brandenburg bereits heute erkennbar ist, sind Aussagen zur zukünftigen Verbreitung von Maiswurzelbohrer, Getreidelaufkäfer, Kartoffelkäfer oder Blattläuse noch hypothetisch (SCHRÖDER et al. 2006; DOLESCHEL, 2007). Der Trend zu höherem Schädlingsdruck und damit einhergehenden Ernteverlusten wird allgemein auch für Gemüse-, Obst- und Weinbau bestätigt. Was ein erhöhtes Auftreten von Pflanzenkrankheiten betrifft, wirken einzelne Elemente der prognostizierten Klimaveränderung in Deutschland auf folgende Krankheiten förderlich: Mehltau, Braunrost, Blattfleckenkrankheiten und Fusarien vorwiegend bei Getreide. Zunehmen dürften auch die Krautfäule (Kartoffel), Blattkrankheiten (Raps) und Rhizomania (Rüben). Stärkere Sommerniederschläge können auf Schädlinge eher reduzierend wirken, befördern aber Pilzkrankheiten.

Generell kann eine Ausbreitung von wärmeabhängigen Krankheiten in nördlichere Regionen Deutschlands angenommen werden (u.a. SAG 2007). Auf neue Krankheiten muss sich die Landwirtschaft in Nordostdeutschland ebenso einstellen wie auf das Wiederauftreten bekannter Schädlingsarten (u. a. SZIH, 2007).

### 5.2.9 Unkräuter

Ähnlich wie bei Nutzpflanzen ist für Unkräuter mit folgenden Effekten durch Klimaveränderungen zu rechnen:

- Durch die Temperaturerhöhung Arealerweiterung und erhöhte Verbreitung von wärmelimitierten Kräuterarten (z. B. Ambrosie) und C4-Unkräutern. Bei letzteren vor allem bedingt durch geringe Sensibilität auf Trockenstress.
- Durch den CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt verstärktes Auftreten und höhere Konkurrenzkraft von C3-Unkräutern (ROSENZWEIG & HILLEL, 1998b).
- Allgemein wird auch hier die Wasserverfügbarkeit in Zukunft eine größere Bedeutung erlangen, was so das Konkurrenzverhalten von C3-Nutzarten zu C4-Unkrautarten beeinflussen dürfte.
- Sowohl die Anwendung als auch die Wirksamkeit/Aufnahme von Herbiziden wird durch Klimaveränderungen bzw. ihre direkten Wirkungen auf die Pflanzenphysiologie beeinträchtigt sein.

### 5.2.10 Tierhaltung und Grünland

Da bereits heute in Mitteleuropa Sommertemperaturen erreicht werden, die über dem Temperaturoptimum von Hochleistungs-Milchviehrassen liegen (20 °C), ist grundsätzlich in Zukunft mit einer geringeren Produktivität zu rechnen, kommt es nicht zu Anpassungsmaßnahmen z. B. im Stallbau.

Hinzu kommt eine negative Korrelation von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, so dass der kritische Index aus beiden Klimavariablen (THI<sup>20</sup>) die Produktionsgrenzen aufzeigt.

FISCHER et al. (2005) verweist auf den Einfluss der Sonnenscheindauer und der Strahlungintensität auf die Futteraufnahme und den Wasserbedarf bei Rindern. Auch negative Effekte von Hitzestress auf die Milchleistung und -qualität sowie die Reproduktionsfähigkeit zeigen verschiedene Untersuchungsergebnisse, welche in dieser Literaturstudie zusammengefasst werden.

In der Weidehaltung ist bei Extremsommern mit Sonnenstich, Hitzeschlag oder Kreislaufkollaps von Rindern und Milchkühen zu rechnen. Eine Zunahme an Krankheiten durch Infektionen oder Krankheitserreger ist ebenfalls möglich (DOLESCHEL, 2007). Neben Anpassungen durch die Rassenwahl ist aufgrund von züchterischem Fortschritt und Managementmaßnahmen ein breites Spektrum an Reaktionsmöglichkeiten gegeben (siehe SCHALLER & WEIGEL, 2007:137).

Für das Grünland kann in gemäßigten Breiten mit einem Ausgleich der beiden Effekte geringerer Rohproteingehalt und bessere Verdaulichkeit aufgrund veränderter Kohlehydratzusammensetzung gerechnet werden.

Generell dürften sich längere Sommertrockenheiten negativ auf die Grünlandproduktivität niederschlagen. Sonst ist mit einer Produktivitätszunahme auf feuchten Standorten von etwa 10 % zu rechnen (USF, 2005). In einer ähnlichen Größenordnung könnten die Verluste auf trockenen Standorten in Brandenburg liegen (MIRSCHER et al., 2005). Für die Weidehaltung ist mit einer Vorverlegung der Weidephase zu rechnen. Wahrscheinlich ist eine Zunahme bestimmter Unkrautarten aufgrund erhöhter Durchschnittstemperaturen (vgl. DEFRA, 2000).

---

<sup>20</sup> Temperature-Humidity Index

### 5.3 Modellergebnisse für einen Betrieb der Berliner Stadtgüter

Um Prognosen zu effizienten Produktionsstrukturen unter veränderten klimatischen Bedingungen entwickeln zu können, wurde ein Ansatz angewendet, der eine detaillierte ökonomische und in einem weiteren Schritt auch eine ökologische Analyse erlaubt. Die Umsetzung erfolgte mit Hilfe des Modellsystems MODAM, welches am ZALF entwickelt wurde. Umfangreiche, detaillierte Datensammlungen zu landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, die auch klimatische Faktoren mit einbeziehen, werden dabei in einer konsistenten Modellstruktur zusammengeführt, mit Hilfe verschiedener Modellbausteine bewertet und schließlich zu einem betrieblichen Planungsmodell zusammengeführt.

Die Betrachtung erfolgt mittels der Szenariotechnik. Die Auswirkungen der Klimaänderungen selbst werden als Veränderungen gegenüber einem Referenzszenario untersucht. Das als Basis dienende Referenzszenario wird bestimmt durch Annahmen zu den zukünftigen Rahmenbedingungen im Hinblick auf Agrarmärkte und Agrarpolitik. Somit beruhen die ausgewiesenen Veränderungen gegenüber der Ist-Situation auf diesen beiden Ursachenkomplexen. Die prognostizierten Unterschiede zum Status-Quo werden stark geprägt durch die Festlegungen für das Referenzszenario. Die dafür bestimmenden Fragestellungen weisen stets eine große Ungewissheit auf, worauf ausdrücklich hinzuweisen ist.

#### 5.3.1 Arbeitsschritte

Als Vorbereitung für die Modellierung eines Beispielbetriebes werden auf der Grundlage der zurzeit auf dem Betrieb vorkommenden Kulturarten und Produktionssysteme Deckungsbeiträge zu einer Auswahl von Produktionsverfahren aus der MODAM-Datenbank errechnet. Zusätzlich werden vorab verschiedene Ertrags- und Verfahrensänderungen simuliert, um für spezifische Anpassungsprozesse an klimatische Änderungen zur Auswahl zu stehen. Dabei wurden sowohl niederschlagsbedingte Ertragsrückgänge als auch die durch den CO<sub>2</sub>-Anstieg bewirkte Ertragskompensation berücksichtigt.

Die Produktionsverfahren wurden in Absprache mit den Projektpartnern (PIK, Betriebsleiter, u.a.) an die durch den Klimawandel zu erwartenden Ertragsänderungen weiter angepasst.

Durch kulturartenspezifische Unterschiede in den Ertragsreaktionen auf ein verändertes Temperatur- und Niederschlagsniveau sind Anpassungen der Landnutzungssysteme zu erwarten. Diese unterschiedlichen Anpassungsstrategien eines landwirtschaftlichen Betriebes sollen vor dem Hintergrund von Szenarien, die die Schwankungsbreite der zu erwartenden Klimaveränderungen abbilden, simuliert werden.

Die Ergebnisse des verwendeten Modells geben Einblick in die Veränderungen der Einkommenssituation des Beispielbetriebes auf der Basis von vordefinierten Rahmenbedingungen. Daraus sollen Aussagen zur Bedeutung der Integration von Klimawandelanpassungskonzepten abgeleitet werden. Ein weiteres Ergebnis der ökonomischen und ökologischen Bewertungen sind dabei die jeweiligen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, die sich unter den Rahmenbedingungen des Modells und der Szenarien als vorzüglicher erwiesen haben.

In Abhängigkeit vordefinierter Parameter und Ausgangsbedingungen können die Auswirkungen einer Vielzahl von Varianten abgeschätzt werden. Um diese in einem überschaubaren Rahmen zu halten, wurden sie zu einer geringeren Anzahl von prägnanten Szenarien zusammengefasst. Innerhalb des Projekts wurden die folgenden Szenarien berücksichtigt:

	Szenarien	Annahmen und Anmerkungen
1.	Validierungsszenario GAP2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Im Jahr 2013 geltende Prämienstruktur</li> <li>- Ertragsniveau ohne Klimawandel</li> <li>- Validierungsszenario zur Überprüfung der Plausibilität der Modellaussagen</li> </ul>
2.	Referenzszenario Liberalisierung (Lib)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anstieg der Preise für Verkauf der Produkte sowie den Zukauf von Futtermitteln</li> <li>- Wegfall aller Prämien</li> <li>- 50%iger Anstieg der Produktionskosten</li> </ul>
3.	Klimaszenario2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wie Lib</li> <li>- Zusätzliche Ertragsreduktion durch Klimaeinfluss (ohne CO<sub>2</sub>-Kompensation)</li> </ul>
4.	Klimaszenario2050_CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wie Lib</li> <li>- Zusätzliche Ertragsreduktion durch Klimaeinfluss (mit CO<sub>2</sub>-Kompensation)</li> </ul>
5.	Klimaszenario2050_Nplus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wie Lib</li> <li>- Ertragsreduktion durch Klimaeinfluss (jedoch mit CO<sub>2</sub>-Kompensation)</li> <li>- Zusätzlicher Anstieg der Düngerpreise durch Verteuerung der Energie</li> </ul>

**Abbildung 5.3** Entwicklung der Szenarien. Quelle: Eigene Darstellung.

#### Zu 1. Validierungsszenario:

Um die Plausibilität der Modellreaktionen unter den stark veränderten Rahmenbedingungen des Klimawandels überprüfen zu können, wurde zunächst ein relativ zeitnahes Szenario mit den bestehenden Gegebenheiten eines Beispielbetriebes untersucht. Dabei soll geklärt werden, wie nahe an der Realität das Modell die tatsächliche Flächennutzung simuliert. Eine völlige Übereinstimmung ist dabei aufgrund der Modelleigenschaften kaum zu erreichen; ausreichend ist bei diesem Schritt, dass dabei eine plausible Flächennutzung simuliert wird. In diesem Szenario ist deshalb die Prämienstruktur der Gemeinsamen Agrarpolitik abgebildet, wie sie in Brandenburg im Jahre 2013 zu erwarten ist (Entkopplung der Prämien, völlige Angleichung von Acker- und Grünlandprämien).

#### Zu 2. Referenzszenario Liberalisierung (Lib):

Klimawandelszenarien sind in derartig entfernter Zukunft (2050) angesiedelt, dass Vorhersagen über die kommenden Betriebsprämien und andere Beihilfen nur schwer möglich sind. Um ein belastbares Basisszenario zu erhalten, wird daher von einer weitgehenden Liberalisierung des EU-Agrarmarktes ausgegangen. Von Bedeutung ist die Formulierung der Annahmen über den Anstieg von Weltmarktpreisen und Energiepreisen. So könnte ein hiermit verbundener Kostenanstieg für Eiweißfuttermittel dazu führen, dass der Betrieb weniger zukaft und den Eigenanbau ausdehnt. Auch die Entwicklung der Energiepreise hat Auswirkungen auf die Anbauwürdigkeit von Agrarprodukten, da der Energieinput insbesondere in Form von Stickstoffdünger je nach Kulturart unterschiedlich hoch ist. Höhere Verkaufserlöse für landwirtschaftliche Energieerzeugnisse wie auch Steigerungen der Betriebsmittelkosten würden z.B. im Falle einer Zunahme von Flächenkonkurrenzen allgemein in Richtung der größtmöglichen Effizienz der Produktion wirken.

Zu 3.-5. Klimaszenarien:

In Absprache mit den Projektpartnern wurden die Annahmen zu den Szenarien so formuliert, dass sich die aus den Klimaänderungen ergebenden Auswirkungen aussagekräftig abbilden lassen. Über Variationen der in den Ertragsänderungsmodellen enthaltenen Parameter, welche wiederum auf Schätzgleichungen des Ertrages in Beziehung zu Bodenparametern, Niederschlagsmengen und -zeiträumen sowie Temperatursummen in den einzelnen Vegetationsabschnitten beruhen, wurden die Grenzbereiche der Entwicklung simuliert. Grundlage für die Schätzungen der klimaabhängigen Ertragsveränderungen bildet eine Studie, die vom ZALF in Zusammenarbeit mit dem PIK erstellt wurde (Mirschel et al. 2005). Dabei wurden zwei Varianten unterschieden: die erste Variante vernachlässigt den Düngungseffekt, der sich durch einen CO<sub>2</sub>-Anstieg ergibt, während die zweite Variante diesen Effekt mit einschließt.

Diese Ergebnisse basieren auf dem regionalen Klimamodell STAR 2.0, welches Beobachtungen von 1951-2005 einbezieht und eine Simulation von 2004-2055 erlaubt.

Im Folgenden werden stichwortartig die Auswirkungen skizziert.

In Ostdeutschland:

- Zunahme der Jahresmitteltemperatur um 2-3 °C bis 2050
- Geringe Abnahme des Jahresniederschlags
- Jedoch starke Änderung der Verteilung:
- insgesamt höhere Niederschlagsmengen im Winter (ca. 300 mm im November-April)
- nur noch geringe Niederschlagsmengen im Sommer (ca. 200 mm im Mai-Juli)

Die folgende *Abbildung 5.4* zeigt die verwendeten Ertragskorrekturkoeffizienten.

Fruchtart	Anbauanteil (%)	durchschnittliche Ertragsveränderung (ohne CO <sub>2</sub> , in %)	Durchschnittliche Ertragsveränderung (mit CO <sub>2</sub> , in %)
Winterroggen	21,7	-5,5	-0,33
Winterweizen	19,3	-4,8	0,48
Silomais	9,6	-7,9	-2,87
Winterraps	7,1	-11,0	-6,07
Wintergerste	6,2	-4,8	0,47
Triticale	5,6	-4,4	0,10
Zuckerrüben	1,1	-9,1	-4,05
Luzerne	1,0	-11,7	-6,62
Sommergerste	1,0	-5,0	0,26
Sommerraps	0,6	-7,4	-2,30
Sommerweizen	0,4	-4,4	0,91
Klee gras	0,4	-13,1	-8,32
Hafer	0,3	-5,1	0,16
Kartoffeln	0,3	-14,1	-9,42

**Abbildung 5.4** Übersicht über die Auswirkungen der in 2050 in Märkisch-Oderland zu erwartenden lokalen Klimaänderung (PIK-Klimaszenarien) auf die Ertragsleistung im Vergleich zur Ertragsleistung des Klimaniveaus 2000, aufgeschlüsselt auf die hauptsächlich angebauten landwirtschaftlichen Fruchtarten. Modell SAMT (Spatial Analysis and Modelling Tool) am ZALF (MIRSCHER et al. 2005)<sup>21</sup>

<sup>21</sup> MIRSCHER, W.; EULENSTEIN, F.; WENKEL, K.-O.; WIELAND, R.; MÜLLER, L.; WILLMS, M.; SCHINDLER, U.; FISCHER, A. (2005): Regionale Ertragsschätzung für wichtige Fruchtarten auf repräsentativen Ackerstandorten in Märkisch-Oderland mit Hilfe von SAMT: -2000 versus 2050-. In: Wiggering, H. [Hrsg.]; Eulenstein, F. [Hrsg.]; Augustin, J.

Die Auswirkungen der je nach Szenario unterschiedlichen Ertragsänderungen und Rahmenbedingungen wurden am Beispiel eines Berliner Stadtgutes dargestellt. Die Simulationen zeigen, wie sich die optimale Betriebsstruktur (Flächennutzung des Betriebs, Intensität der Tierhaltung) einstellen würde, wenn der Betrieb mit Klimaänderungen konfrontiert wird. In diesem Kapitel wird die Biogasproduktion des Betriebes zunächst nicht berücksichtigt; dieser Betriebszweig wird erst in Kapitel 8 untersucht.

### **5.3.2 Modellierung eines Berliner Stadtgutes mit dem Agrarökonomie-Modell MODAM**

Inhalt dieses Arbeitsschrittes ist die Integration klimatischer Änderungsmöglichkeiten (Klimafaktoren) in das Modell und die Ausweisung möglicher Auswirkungen auf Ökonomie und Landnutzung der Betriebe. Mittels Szenarienanalysen soll eine Informationsgrundlage geschaffen werden, auf deren Basis Anpassungsstrategien entwickelt werden können.

Im Folgenden wird zunächst kurz das zur Anwendung kommende Betriebsmodell etwas näher erläutert. Anschließend werden die Modellierungsergebnisse dargestellt und diskutiert. Im Anschluss findet sich eine kurze Diskussion, die die Ergebnisse interpretiert.

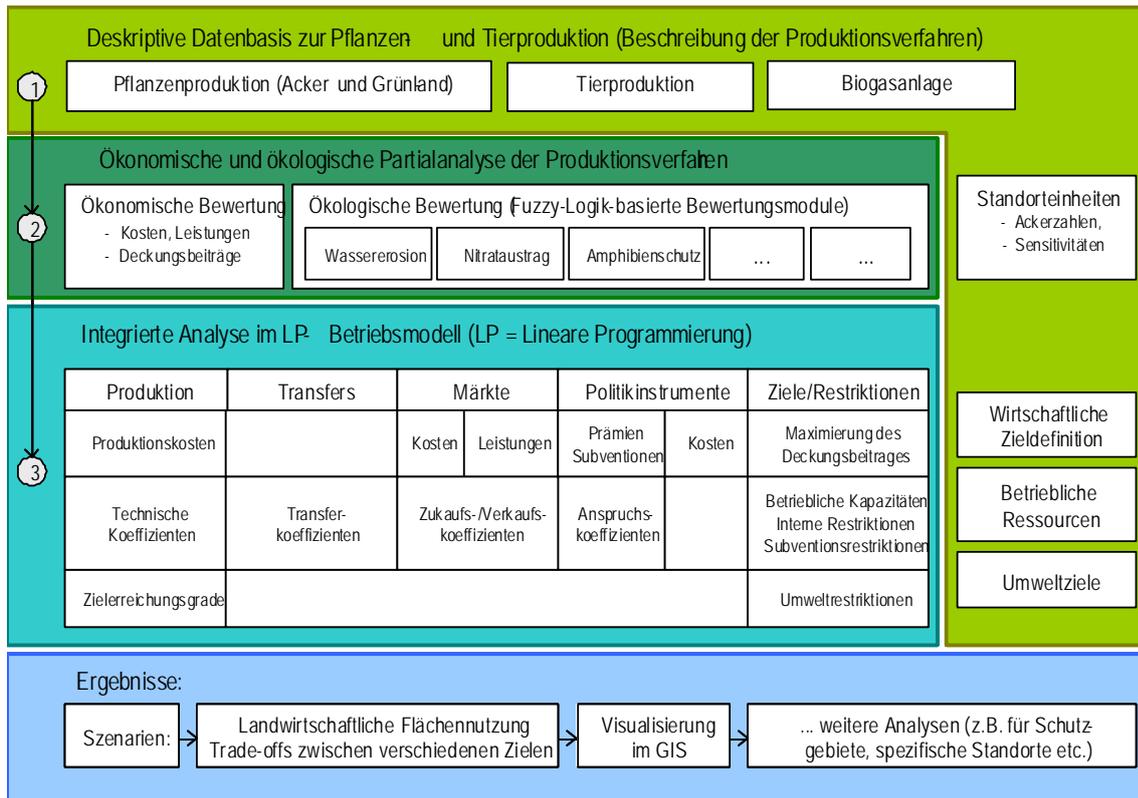
Vorgehen:

Implementierung der Betriebsdaten des Stadtgutes in das Modell

- Herausarbeiten von belastbaren Rahmendaten zur Entwicklung des Agrarmarktes (Preise und Erträge).
- Festlegung möglicher Klimaszenarien
- Sensitivitätsanalysen zu den Ergebnissen

### **5.3.3 Modellaufbau und Eingangsdaten**

MODAM ist aus mehreren hierarchisch gekoppelten Datenbanken zusammengesetzt. Die hier beschriebenen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren werden ökonomisch und ökologisch analysiert (Partialanalyse), bis anschließend aus den generierten Daten ein Betriebsmodell erstellt wird. Ein LP-Algorithmus (LP = Lineare Programmierung) liefert zu diesem Optimierungsproblem eine Lösung zur Auswertung an die Datenbanken zurück. Diese Lösung beschreibt die ökonomisch optimale Verwertung der eingesetzten Produktionsfaktoren (Arbeit, Flächen etc.). Veränderte Rahmenbedingungen (Preise) oder Parameter (Erträge) führen zu einer unterschiedlichen Lösung.



**Abbildung 5.5** Modellstruktur MODAM (= Multi-Objective Decision support system for Agro-ecosystem Management)

Das Modellsystem lässt sich in drei hierarchisch verknüpfte Ebenen gliedern. Auf der ersten, deskriptiven Ebene werden die Produktionsaktivitäten, Standorte und die Ziele der Optimierung beschrieben. Standortspezifische Anbauverfahren werden in einer Form zusammengestellt oder generiert, welche die ökonomischen und ökologischen Partialanalysen der zweiten Ebene ermöglicht. Die zweite Ebene liefert mittels einer Reihe statisch deterministischer Analysemodule die ökonomischen Kosten und Nutzen und die ökologischen Potenziale und Risiken der Anbauverfahren.

Auf der dritten Ebene, der integrierten Analyse, werden die technischen, ökonomischen und ökologischen Koeffizienten zusammen mit den betrieblichen Kapazitäten an den LP-Generator übergeben, der ein statisches bzw. ein rekursiv dynamisches, gemischt ganzzahliges, lineares Programmierungsmodell erstellt, das ökologische Ziele als Nebenbedingungen beinhaltet. Das statische oder dynamische Betriebsmodell kann daher ökologische und ökonomische Ziele simultan optimieren. Diese Herangehensweise erlaubt die Analyse von Preis- und Klimavarianten. Die Zielfunktion des Modells maximiert die Summe der erweiterten Deckungsbeiträge. Diese setzen sich zusammen aus

Erweiterter Deckungsbeitrag (DB) =  
 Erlös (Produktpreis x Ernteertrag)  
 + Prämien (im Falle von GAP 2013 einheitlich 290,- € für AL- und GL-Flächen, sonst Null)  
 - Kosten (Betriebsmittel, Maschinen, AKh-Bedarf)

Zur Berechnung des "erweiterten" DB ist anzumerken, dass die Einbeziehung von Maschinenkosten in die DB-Rechnung auf der Annahme basiert, dass der Betrieb aufgrund seiner Größe alle eingesetzten Maschinen oberhalb der Abschreibungsschwelle nutzen kann, so

dass die Kosten anteilig den Verfahren zuzuordnen sind. Der Arbeitseinsatz wird ähnlich behandelt, da in Betrieben mit einer Lohnarbeitsverfassung davon auszugehen ist, dass Arbeitskraftbedarf stundenweise zugekauft werden kann.

### Betriebsdaten

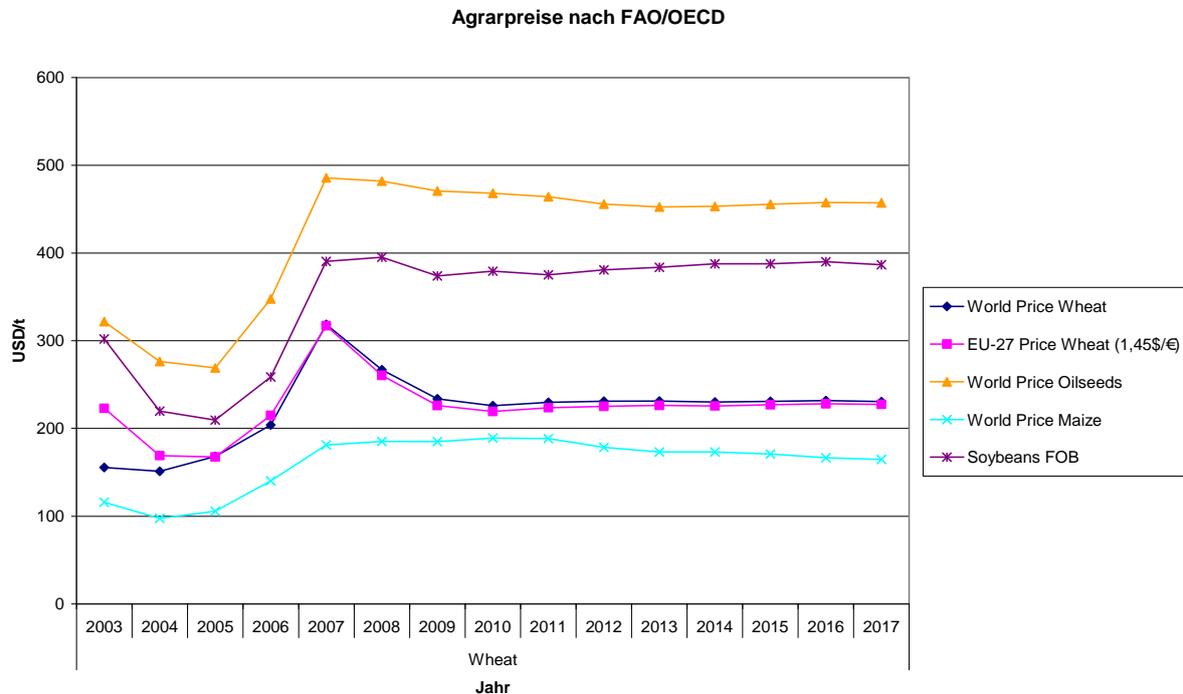
Aus dem Betriebsspiegel des Beispielsbetriebes werden Daten zu Flächengrößen und –qualitäten zu Gruppen aggregiert. In der folgenden *Abbildung 5.6* ist die gegenwärtige Flächennutzung des Betriebes dargestellt.

Kulturart	Schläge Anzahl	Fläche Ha	Mittel Schlag Ha	Anteil %	Min	Max	Diff. MW- Max	
							MW dt TM/ha	%
Acker aus Produktion	5	6,9	1,4	0,1	k.A.	k.A.		
Feldgras	11	87,8	8,0	1,3	k.A.	k.A.		
Silomais	86	1900,1	22,1	28,0	73	152	112	35
Körnermais ohne Frucht	17	478,8	28,2	7,1	50	90	70	29
Stilllegung	708	1085,1	1,5	16,0	k.A.	k.A.		
Wiesengras	64	844,6	13,2	12,5	72	80	76	5
Wintergerste	16	420,3	26,3	6,2	42	58	50	16
Winterraps	36	837,5	23,3	12,4	26	36	31	16
Winterroggen	26	685,8	26,4	10,1	32	60	46	30
Winterweizen	3	154,2	51,4	2,3	46	52	49	6
Wintertriticale	6	277,0	46,2	4,1	35	48	42	16
Gesamt	978	6778,0	6,9	100,0				

**Abbildung 5.6** Flächennutzung 2008 des Beispielbetriebs; Erträge von 2003 bis 2007. Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der Aggregation werden zunächst reine Grünland- und Ackerlandschläge unterschieden. Zum Ackerland wird zusätzlich noch eine Unterscheidung in leichte, ertragsschwache Flächen und etwas bessere Flächen vorgenommen. Diesen werden entsprechende Ackerzahlen zugeordnet (AZ25 für leichte Böden, AZ38 für etwas bessere Böden). Bessere Ackerzahlen finden sich in dieser Region nur vereinzelt und werden deshalb nicht im Modell wiedergegeben. Die Ackerzahlen bestimmen im Modell die möglichen Durchschnittserträge der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren. Als Grundgerüst für die Verkaufs- und Zukaufpreise wird ein Datensatz des Jahres 2004 verwendet, der mit entsprechenden Preistrends je Szenario fortgeschrieben wird. Die Marktentwicklung für Bioenergeträger (beobachtet wie prognostiziert) erlaubt sowohl Rückschlüsse auf künftig zunehmende Konkurrenzverhältnisse (Anstieg der Flächenansprüche aber auch des Preisdrucks) als auch die Abschätzung, dass durch die wirtschaftlich erforderliche Nutzung der Industriereststoffe Schlempe und Extraktionsschrot die Futterzukaufpreise nicht im Maße der allgemeinen Agrarprodukte ansteigen müssen. Eine Vorüberlegung, die gemacht wurde (die Stadtgüter durch verstärkte Eigenproduktion von steigenden Futterkosten des Marktes unabhängig zu machen, Situation aus Preisentwicklung 2007), verliert dadurch an Bedeutung.

Laut OECD entwickeln sich die Agrarpreise weit weniger dramatisch, als es der Anstieg im Jahre 2007 vermuten ließe (siehe *Abbildung 5.7*). Aufgrund nicht vorliegender, weiter in die Zukunft reichender Schätzungen wird auch für die späteren Klimaszenarien lediglich zwischen Getreide (+50 %) und Ölsaaten (+65 %) unterschieden.



**Abbildung 5.7** Entwicklung Rahmendaten: Agrarpreise für Weizen und Ölsaaten (OECD 2008)

Die Tierhaltung wird mit einem 3000 Milchkühe umfassenden Haltungssystem mit Nachzucht beschrieben, welches den Futterbedarf sowohl über Ackerfutter, Grünland und Zukaufsfuttermittel decken kann. Einen Überblick zu den verwendeten Betriebsdaten findet sich in *Abbildung 5.8*.

Betriebsausstattung:	Werte und Anmerkungen
Standort:	Ableitung und Abgleich mit Betriebsdaten
Leichte Böden AKZKI 25:	1571 ha, davon 1000 ha dauerhafte Stilllegung
Mittlere Böden AKZKI 38:	4363 ha
Grünland:	845 ha
Gesamtfläche:	6779 ha
Erträge:	Datensatz ZALF
Preise:	2004 (ZMP u. a.) Fortschreibung mit Preistrends je Szenario
Tierhaltung:	3000 Stallplätze Milchkühe

**Abbildung 5.8** Eingangsdaten für den Modellbetrieb

### 5.3.4 Ergebnisse der Modellrechnungen

Im Folgenden sind die Modellierungsergebnisse für den Betrieb ohne Biogasnutzung aufgeführt. In Kapitel 8 findet sich ein Überblick, wie der Betrieb in den verschiedenen Szenarien bei der Nutzung einer 1000-KW-Biogasanlage reagiert.

Nach der Validierung eines Szenarios unter GAP2013-Bedingungen wurde zunächst ein gültiges Referenzszenario unter Liberalisierungsbedingungen (Lib) abgeleitet, welches für die folgenden Klimaszenarien als Vergleichskulisse dient. Darauf aufbauend folgen die oben beschriebenen Klimaszenarien (siehe Kapitel 5.3.1).

#### Validierungsszenario: Ist-Zustand

Ausgangspunkt für die Bewertungen und Anpassungsstrategien bildet die Modellierung eines Referenzbetriebes/-szenarios, um die Effekte der angesetzten Änderungen von Klimafolgen und anderen Rahmenbedingungen deutlicher herausarbeiten zu können. Eine wichtige Voraussetzung des Referenzszenarios ist ein Standhalten der Berechnungen gegenüber der realen Situation. Die erforderlichen Validierungen des Modells wurden mit Hilfe des realen Betriebs vorgenommen.

Als wesentliche Rahmenbedingungen gehen die Regelungen der GAP 2013 (Entkoppelte Flächenprämien: 290 €/ha<sup>22</sup>) in die Modellierungen des Ist-Zustands sowie die oben beschriebenen Eingangsdaten zur Pflanzenproduktion und Tierhaltung ein.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen ergaben eine ausreichend plausible Übereinstimmung der Flächennutzung des Modellbetriebs mit dem Ausgangsbetrieb. Lediglich bei der Fütterung verzeichnete der Silomais im Modellbetrieb eine geringere Bedeutung gegenüber der Luzernesilage als auf dem Stadtbetrieb, da die Rationszusammenstellung im Modell eine Mischung beider Silagen bevorzugt. Die Getreidearten Winterweizen und Wintertriticale sind in der Modelllösung nicht vertreten, da die Erträge für Roggen dem Standort besser angepasst sind, so dass eine Spezialisierung auf die Kultur eintritt. Aus Gründen der Risikominde- rung ist eine Streuung auf andere Kulturen in der Realität jedoch sinnvoll.

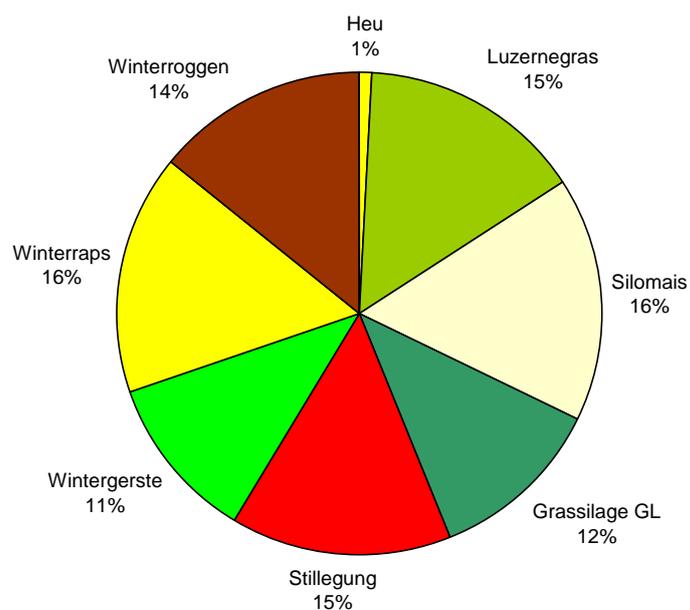
---

<sup>22</sup> Die gerechneten Szenarien verzichteten auf die Staffelung im Übergang vom Kombinationsmodell (2005) bis zum Regionalmodell (2013). Prämienzahlungen entsprechen dem Regionalmodell von 2013 und werden auf den für Grünland, Ackerland und Stilllegung in Brandenburg einheitlichen Betrag von 290 €/ha angeglichen.

Beispielbetrieb Stadtgut			Ergebnis des Validierungsszenarios		
Kulturart	Fläche ha	Anteil %	Kultur MODAM	Erläuterung	Flächenanteil %
Acker aus Produktion	7	0,1	-	Frei verfügbare Fläche	0,0
Feldgras	88	1,3	HHx	Heu auf GL	0,9
Wiesengras	845	12,5	SSx	Silage auf GL	11,6
Silomais	1900	28,0	SMA	Silomais	16,5
Körnermais ohne Frucht	479	7,1			
Stilllegung	1085	16,0	STI	Stilllegung*	14,8
			LZS	Luzernegrassilage	14,9
Wintergerste	420	6,2	WGE	Wintergerste	11,6
Winterraps	838	12,4	WRA	Winterraps	16,1
Winterroggen	686	10,1	WRO	Winterroggen	14,1
Winterweizen	154	2,3			
Wintertriticale	277	4,1			

\*Stilllegung auf max 1000 ha beschränkt, da ansonsten kein Anbau auf AZ25-Flächen

**Abbildung 5.9** Flächennutzung 2008 Beispielbetrieb Stadtgut vs. Modellierung mit dem Betriebsmodell MODAM



**Abbildung 5.10** Flächennutzung im Szenario GAP2013 bei Modellierung mit dem Betriebsmodell MODAM

### Referenzszenario 2050 ohne Klimafolgen

Wie bereits weiter oben dargelegt, wird als Vergleichsgrundlage ein Szenario für das Jahr 2050 gerechnet, welches den Wegfall der Flächenprämien (Liberalisierungsszenario Lib) beinhaltet, sowie eine Zunahme der Verkaufspreise unterstellt (Getreidepreise um ca. 50 %, Zunahme bei Ölfrüchten um ca. 65 %, Zunahme der Tierproduktpreise um ca. 50 %). Zusätzlich werden die variablen Kosten der Produktionsverfahren um 50 % angehoben, um auch eine allgemeine Steigerung der Produktionskosten darzustellen. Eine anzunehmende überproportionale Steigerung von bestimmten Inputpreisen (Betriebsmittel mit hohem Energieinput) wird erst abschließend auf die Klimaszenarien aufgesattelt.

Die Auswirkungen der Szenarien werden an den Variablen „Änderung der Flächennutzung“, d. h. zur Anwendung kommende Fruchtfolgen, sowie dem daraus resultierenden Gesamtdeckungsbeitrag des Betriebs dargestellt.

### Modellierungsergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Simulationsrechnungen für den Modellbetrieb bei verschiedenen Rahmenbedingungen und Ertragsersparungen dargestellt.

Zunächst lässt sich ableiten, dass sowohl Preis- als auch Ertragsänderungen starke Einflüsse auf die resultierenden Anbauverhältnisse haben werden (siehe *Abbildung 5.11*). Durch den **Wegfall der Prämien** für die Stilllegung sowie für die Grünlandnutzung sind leichte Böden und das Grünland von der Aufgabe betroffen, die noch bestehende Heunutzung ist alleine durch einen speziellen Anspruch der Nachzucht bedingt. Das Grünland in GAP2013 blieb also nur wegen der dort angesetzten Prämienzahlungen in Nutzung. In der Realität würde sich eventuell eine extensivere Nutzung für solche Flächen herausbilden, unter Modellbedingungen erlauben jedoch die bestehenden Kostenstrukturen keine rentable Nutzung dieser Flächen. Eine Sensitivitätsanalyse mit höheren Ertragszahlen im Grünland (basierend auf höheren Angaben des Stadtgutes) (GAP 2013+LIB: 253 dt FM/ha; Klima: 220 dt und Klima-CO<sub>2</sub>: 232 dt) bringt das Grünland somit in allen Szenarien wieder vollständig in Nutzung. Als Folge dieser Änderung sank der erforderliche Luzerneanbau entsprechend des zusätzlichen Grünlandertrages (Futter-Zukauf änderte sich geringfügig zum Ausgleich von veränderten NEL- zu XP-Verhältnissen). Eine Nutzung des Grünlandes und somit verminderte Fläche Luzerne schlägt sich voll in der Nichtnutzung anderer Flächen nieder. In allen Szenarien (Lib und Klima ff.) ist kein Marktfruchtverfahren rentabel, was die Anforderungen an die Züchtung und die Bedeutung der Preisentwicklung für eine Aufrechterhaltung der Landwirtschaft unter Wegfall der Prämien unterstreicht.

Der Standortvorteil des Roggens wird deshalb in dem Liberalisierungsszenario wieder sichtbar. Raps bleibt aufgrund der steigenden Preise für Ölsaaten weiterhin lukrativ, während die Wintergerste stark eingeschränkt wird. Silomais und Luzernegras werden weiter ausgebaut, da der Ausfall der Grünlandflächen unter den Modellannahmen zu den Erträgen kompensiert werden muss. Die Tierhaltung bleibt in allen Szenarien konstant und dominiert in den Klimaszenarien das Anbauspektrum, d. h. es werden nur noch Kulturen angebaut, die entweder direkt der Versorgung der Tierproduktion dienen, oder zur Entsorgung der Gülle gebraucht werden.

	GAP2013	Lib	klim2050	klim2050 mit CO <sub>2</sub> -Effekt	Nplus
Relativer Deckungsbeitrag	100%	148%	138%	143%	129%
Heu	0,9%	1,8%	2,0%	1,9%	2,0%
Luzernegras	14,9%	19,4%	22,0%	21,1%	22,0%
Silomais	16,5%	19,3%	20,5%	19,8%	20,5%
Grassilage GL	11,6%				
Stilllegung	14,8%				
Wintergerste	11,1%	1,6%	1,4%	1,6%	1,6%
Winterraps	16,1%	13,6%			
Winterroggen	14,1%	10,6%	10,3%	10,5%	11,1%
Frei verfügbare Fläche	0,0%	33,9%	43,8%	45,0%	42,7%

**Abbildung 5.11** Anbauverhältnisse und Gesamtdeckungsbeitrag in den Szenarien

Auf der Einkommenseite kann insbesondere der angenommene Anstieg des Verkaufspreises für Milch in allen Szenarien den Wegfall der Prämien sowie den Anstieg der Inputpreise kompensieren. Erwartungsgemäß ist im **Liberalisierungsszenario** der Anstieg des relativen Deckungsbeitrages (DB) am höchsten, da dieser nicht durch Ertragsrückgänge durch Klimaeinflüsse geschmälert wird. Der tatsächliche Anstieg des Deckungsbeitrages aus der Produktion (reine Verkaufserlöse) beträgt somit sogar ca. 3,56 Mio. € (DB-GAP2013 ohne Prämien nur ca. 1,34 Mio. €, DB-Lib: ca. 4,9 Mio. €). An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Produktionskosten der Tierhaltung unterproportional angehoben wurden: es wurden hier lediglich die Produktionskosten der Wirtschafts- sowie Zukauffuttermittel erhöht. Würden die variablen Kosten der Tierhaltung ebenfalls um 50 % angehoben, schmälert dies zwar den Gesamtdeckungsbeitrag, dieser bleibt aber dennoch in allen Szenarien höher als im GAP2013-Szenario<sup>23</sup>.

Bei Berücksichtigung der ertragsreduzierenden Klimaeffekte fällt der DB des Betriebes wieder entsprechend. Eine Verteuerung der Düngerkosten reduziert den DB am stärksten im Vergleich zum Referenzszenario (Lib).

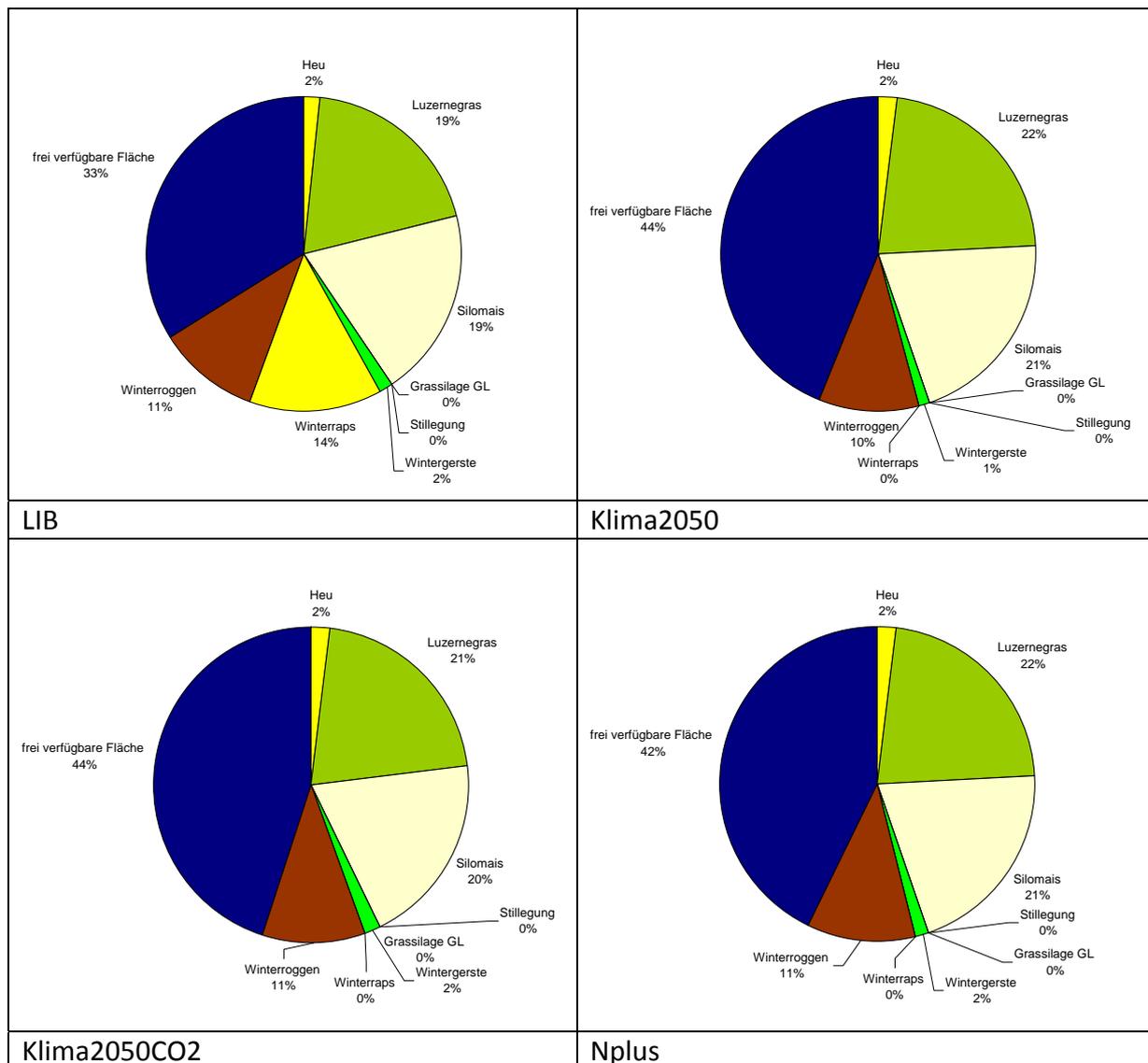
Produkt	GAP2013	Lib	klim2050	klim2050 mit CO <sub>2</sub> -Effekt	Nplus
Wintergerste	10,23	15,34	15,34	15,34	15,34
Winterraps	20,26	31,78	31,78	31,78	31,78
Winterroggen	9,73	14,60	14,60	14,60	14,60
Winterweizen	11,56	17,35	17,35	17,35	17,35

**Abbildung 5.12** Preise marktfähiger Produkte in den Szenarien

<sup>23</sup> Hauptsächlich die Milchproduktion verursacht diesen Anstieg (Preissteigerung von 28 auf 41 ct). Dieses ist insoweit gut nachzuvollziehen, da in unserem Modell nur die Wirtschaftsfuttermittel über Energie-, PSM- etc. als Kostensteigerungen (162.000 €) einbezogen wurden, nicht jedoch die Verteuerung der Arbeitskräfte. Eine direkte Kostensteigerung der Tierhaltung (Stallplätze, Remontierung) wurde ebenfalls nicht berücksichtigt. Überschlagsmäßig wären dies bei einer 50%-Teuerung ca. 924.000 €. Diese Effekte zusammengenommen reduzieren den Lib-DB auf 3,97 Mio €. Dies ist immer noch höher als in der GAP-Lösung, aber deutlich geringer als ohne diese Korrekturen.

Unter den Bedingungen der **Klimaszenarien** bleibt auch der Roggen eine dominierende Kultur. Die unterschiedlich wirkenden Ertragseffekte des Klimawandels beeinflussen auch die Futterproduktion. Es müssen zusätzlich noch mehr Flächenanteile des Ackerlandes der Futterbereitstellung gewidmet werden, wobei sowohl Silomais und Luzerne-Klee gras (als für die Milchproduktion sehr hochwertige Silage) stärker ausgeweitet werden.

Wenn der Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der bodennahen Atmosphäre bei der Ertragsbildung berücksichtigt wird, wird der erhöhte Flächenbedarf für die Futterproduktion leicht abgeschwächt, an der Gesamtverteilung der Kulturen ändert dies jedoch nichts. Ähnliches gilt, wenn zusätzlich noch ein Anstieg der Düngerpreise angenommen wird (Nplus). Große Verschiebungen treten auch bei diesem Szenario kaum auf, lediglich kommt es hier zu einer Ausweitung der Roggen- und Luzernegrasproduktion, da hier die Düngungsintensität etwas niedriger ist.



**Abbildung 5.13** Flächenverteilung im Modellbetrieb in den Szenarien Lib, Klim2050, Klim2050CO<sub>2</sub> und Nplus

**Raps** wird in den verschiedenen Klimaszenarien ebenfalls nicht mehr genutzt. Eine durchgeführte Sensitivitätsanalyse zeigt jedoch, dass bei geringen Preisanstiegen gegenüber dem Ausgangspreis (Lib: 31,78 €) im Klimaszenario (Klim2050) 35,38 € ausreichen würden, damit wieder 13,6 % Raps angebaut wird. Folgende *Abbildung 5.14* gibt die Schwellenpreise der weiteren Szenarien und angebauten Kulturarten an.

Produkt	GAP2013	Lib	klim2050	klim2050 mit CO <sub>2</sub> -Effekt	Nplus
Wintergerste	10,73	16,46	15,93	15,74	18,23
Winterraps	22,55	32,80	35,38	33,53	44,68
Winterroggen	9,95	14,62	14,86	14,98	17,36
Winterweizen	12,26	19,19	19,26	18,98	19,26

**Abbildung 5.14** Schwellenpreise, bei denen sich die Lösung des Modells verändern würde

Die Modellierungsschritte zeigen, wie sich ein Betrieb möglicherweise auf unterschiedliche Bedingungen einstellen wird. Wichtig ist dabei, für alle Ergebnisse eine Sensitivitätsanalyse (Betrachtung der Schwellenpreise, bei der sich eine veränderte Lösung einstellen würde) durchzuführen, um eventuelle Extrema interpretieren zu können. Doch selbst bei Berücksichtigung der Schwellenpreise einiger ausgewählter Produkte innerhalb der Szenarien erweisen sich die Szenarioergebnisse als relativ stabil. Es soll hier noch einmal darauf hingewiesen werden, dass in allen Szenarien, die auf den Preis- und Kostenstrukturen unter Liberalisierungsbedingungen beruhen, die Tierhaltung die einzig profitable Produktionsrichtung ist. Alle Flächennutzungen sind deshalb von der Milchviehhaltung bestimmt. Ob freiwerdende Flächen einfach aufgegeben (Auslaufenlassen der Pachtverträge) oder für andere Aufgaben (Kurzumtriebsplantagen, Naturschutz) bzw. nach einer entsprechenden Investition für die Erweiterung der Milchproduktion genutzt werden können, hängt somit stark von den vorherrschenden sonstigen Rahmenbedingungen und Entscheidungen der Betriebsleiter ab. Die von der OECD prognostizierten und im Modell fortgeschriebenen Preissteigerungen für Marktfrüchte von 50 % (bzw. 65 % für Ölpflanzen) sind jedoch nicht ausreichend, um eine wirtschaftliche Produktion auf den meisten der brandenburgischen Standorte ohne Prämienszahlungen aufrecht zu erhalten.

#### 5.4 Mögliche Anpassungsstrategien

Wie die vorhergehenden Ausführungen zeigen, ist die Landwirtschaft als Landschafts- und Wassernutzer durch ihre Abhängigkeit von natürlichen Ökosystemen in besonderem Maße vom Klimawandel betroffen. Bei den derzeit vor allem in der Öffentlichkeit kommunizierten Folgen des Klimawandels werden mögliche Anpassungsreaktionen oft vernachlässigt und vom status quo des Wissens und Handelns ausgegangen. So berücksichtigen einige der auf Klimamodelle gestützte Ertragsmodellierungen (HATTERMANN et al., 2005; WESSOLEK & ASSENG, 2006) keine sozio-ökonomischen Anpassungsreaktionen. Reaktionsmöglichkeiten zur Risiko- und Schadensminimierung reichen von veränderten Anbaustrategien (Düngung, Pflanzenschutz, Fruchtfolge) bis zum technischen Fortschritt (Züchtung, teilflächenspezifische Bewirtschaftung) und sozio-politischen Maßnahmen (Beratung, Honorierung von Agrarumweltmaßnahmen).

Das geringe Niederschlags- und Wasserangebot in Brandenburg geht einher mit leichten Böden und führt zu einer stärker angespannten Wasserhaushaltssituation als in den angrenzenden Bundesländern. Das Problem wird zusätzlich durch Bergbau und Hydromelioration in den Niederungen verschärft. Dieser Wassermangel erhöht die Dürregefahr und kann längerfristig erhebliche Auswirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft haben. Welche Schäden im Pflanzenbau zu erwarten sind, wenn keine gegensteuernden Maßnahmen eingeleitet werden, zeigen die Ertragsergebnisse des Hitzejahres 2003 (SCHALLER & WEIGEL, 2007: 59 ff). Dabei war bei fast allen Kulturen die brandenburgische Landwirtschaft von überdurchschnittlichen Verlusten betroffen.

Die in Modellrechnungen prognostizierten Ertragsverluste könnten sich durch standortgemäße Anpassungsstrategien wesentlich abmildern und die Problemdimension begrenzen (ABILDTRUP & GYLLING, 2001). Im Pflanzenbau wird die Wasserverfügbarkeit und Wassernutzungseffizienz für die Nutzpflanzen das wichtigste Ziel von antizipativen und reaktiven Maßnahmen zur Stabilisierung der Erträge darstellen. Dafür sind bewährte Verfahren der guten fachlichen Praxis wie vielfältige Fruchtfolgen, standortspezifische Sortenwahl, eine wasser- und bodenschonende Bearbeitung und bedarfsorientierte Düngung weiterzuentwickeln. Im Folgenden werden zunächst Maßnahmen diskutiert, die in aktuellen Literaturquellen (siehe oben) diskutiert werden. Es wird hier besonders auf Anpassungsstrategien abgehoben, die sich auch für die leichten, flachgründigen Sandstandorte Nord-Ostdeutschland, insbesondere Brandenburgs, eignen. Zunächst wird ein differenzierter Überblick gegeben, bevor dann im letzten Abschnitt auch die Modellierungsergebnisse für einen Betrieb der Stadtgüter berücksichtigt werden und hierfür betriebsspezifische Anpassungsmöglichkeiten dargelegt werden.

### Pflanzenzüchtung

In der Pflanzenzüchtung wird generell für die Zukunft das Potenzial zur Steigerung von Erträgen gesehen. Hier wird der technische Fortschritt stärker wirksam werden als im Pflanzenbau. Voraussetzung für die Nutzung der (maximalen) Ertragspotenziale sind allerdings möglichst optimale Standortbedingungen. Daher ist die Pflanzenzüchtung gefordert, weniger günstige Standorte und sub-optimale klimatische Bedingungen, insbesondere hohe Variabilität der Niederschläge und extreme Trockenheiten, zu berücksichtigen. Generell lässt sich daraus ableiten, dass ein Trend zur Entwicklung und Anwendung robusterer Sorten entstehen wird. Da sich der Klimawandel in längeren Zeiträumen vollzieht, hat die Pflanzenzüchtung die Möglichkeit sich auf die neuen Anforderungen einzustellen und marktreife Produkte rechtzeitig bereit zu stellen. Im Einzelnen sind folgende Parameter züchterisch zu verändern:

- Entwicklungsrate bei höheren Temperaturen und veränderter Niederschlagsverteilung,
- Stresstoleranz bei Hitze und Trockenheit,
- Wachstumspotenzial bei höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen,
- Erhalt der Produktqualität und
- Resistenzen gegen neue Krankheiten und Schädlinge.

Für die Standorte in Nordostdeutschland wird dabei insbesondere die Toleranz gegen Trockenstress eine hohe Bedeutung haben.

Unter dem Aspekt des Klimawandels gewinnt auch das Thema biologische Vielfalt eine neue Bedeutung, da besondere Resistenzeigenschaften oftmals in „alten“ Sorten oder Wildformen zu finden sind. Die angestrebte Kombination aus besonderer Widerstandskraft und hohen

Erträgen bedarf einer ausreichenden Vielfalt an Sorten, um so möglichst viel neue Kreuzungsoptionen zu ermöglichen. Die weltweite Abhängigkeit von wenigen Fruchtarten als auch die Konzentrationen auf den Saatgutmärkten stellen hier möglicherweise Entwicklungshindernisse dar.

Die komplexen Zusammenhänge zwischen den gewünschten Pflanzeigenschaften wie Ertrag, Resistenzen, Qualität/Inhaltsstoffe sowie ihre Abhängigkeit von den Umweltbedingungen stellen auch die moderne Pflanzenzüchtung vor hohe Herausforderungen. Besonders über die Voraussetzungen von Stresstoleranzen ist das züchterische Wissen noch begrenzt.

Während sich die Züchtung auf Trockenheitstoleranzen bisher auf in subtropischen und tropischen Klimaten angebaute Früchte und Sorten wie Reis und Hirse konzentrierte, gewinnt schon heute die Züchtung auf Wassereffizienz bei Mais, Getreide u. a. an Bedeutung (KOCH, 2007; EPSO 2005). Allerdings können zwischen Wassereffizienz und Ertragsleistung auch Zielkonflikte in der Züchtung bestehen. Züchtungsfortschritte aus anderen Klimagebieten lassen sich evtl., unter Berücksichtigung der Photoperiodizität und Frosthärte, auch für westeuropäische und kontinentale Klimabedingungen nutzen.

Während Hochleistungssorten generell anfälliger gegen schwankende Standortbedingungen sind, können auf ungünstigeren Standorten mit modernen Hybridsorten aufgrund ihrer Ausgewogenheit gute und stabile Ertragsergebnisse auch bei geringer Wasserverfügbarkeit erzielt werden.

Sowohl zur Erweiterung der Züchtungsoptionen als auch zur Beschleunigung wird immer häufiger auch auf biotechnologische Methoden zurückgegriffen, was zumindest hinsichtlich Schädlings- und Herbizidresistenzen umstritten ist (WECHSUNG, 2007). Um die Potenziale der vorausgesagten Klimaveränderungen nutzen zu können, ist dabei vor allem eine Anpassung an die verlängerte Vegetationsperiode und neue, höhere Temperaturoptima notwendig (s. o.). Auch was die Nutzung des CO<sub>2</sub>-Effektes betrifft, reagieren ältere Sorten hier offenbar stärker als Hochleistungssorten (z. B. MANDERSCHIED, 1996)<sup>24</sup>. Das Ausschöpfen der Ertragspotenziale setzt dabei aber eine ausreichende Wasserverfügbarkeit voraus (vgl. BENDER et al. 1999a).

Generell kann geschlussfolgert werden, dass unter wasserlimitierten Bedingungen, wie sie in Berlin und Brandenburg der Regelfall sind, Kompromisse zwischen der Stresstoleranz und der Ertragssteigerung gemacht werden müssen (vgl. CHMIELEWSKI et al., 2004). Selbst bei Sorten mit geringer Temperatursensibilität sollte die Ertragssicherheit nicht zugunsten der Ertragshöhe vernachlässigt werden (vgl. SMUL 2005).

### Sorten- und Kulturwahl

Die Sortenwahl wird in Zukunft vor allem darauf abzielen, den negativen Einfluss längerer Trockenperioden im Sommer auf das Pflanzenwachstum, besonders die generative Phase, zu vermeiden (vgl. CHRISTEN, 2007; KOCH, 2007). Der Anbau von frühreifenden (aber frostharten) Sorten empfiehlt sich, da sie dem früheren Vegetationsbeginn entgegenkommen und einen geringeren Wasserbedarf haben. Der Anbau von Getreidesorten mit unterschiedlichem Abreifeverhalten minimiert das Risiko bei eventuell eintretenden Extremereignissen. Da der Klimawandel in Deutschland kleinräumig differenzierte Auswirkungen haben wird, sind zur Optimierung der Sortenwahl regionale Sortenversuche zu intensivieren und deren Ergebnisse in die Praxis zu kommunizieren (Beratungsangebote der Saatguthersteller).

<sup>24</sup> Sorten mit hoher Senkenstärke und hohem Ernteindex nutzen die Assimilate der Photosynthese besonders gut.

Trockenheitstolerante Sorten zeichnen sich durch ein intensives Wurzelwachstum – im Verhältnis zur oberirdischen Biomasse – bzw. hohe Leistungsfähigkeit des Wurzelsystems aus (Winterweizensorten z.B. Tarso, Akteur, Olivin, Batis). Dies kann zudem durch weite Reihenabstände gefördert werden. An bestimmten Standorten werden tiefwurzelnde Früchte wie Raps oder andere Leguminosen (besonders Luzerne) die erste Wahl darstellen. Kleinkörnige Leguminosen können, wenn sie langjährig angebaut werden, die Böden tiefgründig erschließen und mit Stickstoff versorgen. Sie fördern die Bodenfruchtbarkeit und die Bodenfunktionen, mindern Erosionen und Staubbelastungen und tragen wesentlich zur Erreichung einer stabilen Bodenstruktur bei. Zudem führt der intensive Wasserentzug durch das tiefgründige Wurzelsystem dieser Kulturen zu einem geringen Aufkommen von Sickerwasser.

Es ist auch damit zu rechnen, dass sich das Sortenspektrum hin zu Sorten mit höherem Wärmesummenbedarf verschiebt. Die Verlängerung der Vegetationsperiode ermöglicht dann auch den Anbau von spätreifenden Sorten. Sowohl Sommergerste als auch Roggen könnten in Zukunft wieder an Bedeutung gewinnen. Neben Wassereffizienz und Temperaturreistenz sollte dabei auch die Lagerneigung beachtet werden.

Weiterhin werden Winterungen noch an Bedeutung zunehmen, da für diese die Frühjahrs-trockenheit weniger relevant ist und auch im (nassen) Winter der Erosionsschutz gewährleistet ist. Erfolgt ein Wechsel von Sommerkulturen auf Winterkulturen, empfiehlt sich der Anbau von Zwischenfrüchten zum Erosionsschutz. Zudem sollte bei Winterkulturen wegen Auswinterungsgefahr und Krankheitsübertragung nicht früher, evtl. sogar später ausgesät werden. Um Empfehlungen für optimale Saatzeitpunkte geben zu können, sind Feldversuche notwendig bzw. die Ergebnisse von laufenden Untersuchungen z. B. der Landes(forschungs)-anstalten abzuwarten.

### Bodenschutz

Bodenschutzmaßnahmen sollen einerseits durch Förderung bestimmter Bodenstrukturen die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens erhöhen und andererseits die Eingriffe in das bestehende Bodengefüge minimieren, um das Infiltrationsvermögen für Niederschlagswasser hoch zu halten. Man unterscheidet daher Maßnahmen des vorsorgenden Bodengefügeschutzes wie vielfältige Fruchtfolgen, Unter- und Zwischensaaten sowie Bearbeitungsverfahren mit geringer „Eingriffstiefe“. Dies kann der Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung oder eine dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung (u. a. SCHMIDT, 2007; VOßHENRICH & RECKLEBEN, 2008) sein.

Den zu erwartenden Starkniederschlägen während der Vegetationsperiode sollte mit wirksamen Erosionsschutz-Maßnahmen begegnet werden. Das Bodengefüge insbesondere des Unterbodens ist z.B. durch Untersaaten zu schützen, um eine gute Durchwurzelung und somit leichte Wasseraufnahme der Pflanzen zu ermöglichen. Ziel ist auch eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung, die die Wasserverdunstung und Strahlungsabsorption mindert.

Für besonders trockene Standorte in Sachsen wird die konservierende, pfluglose Bodenbearbeitung empfohlen (SCHMIDT & NIETSCHKE, 2005). Diese könnte auch für Standorte in Brandenburg eine bevorzugte Option darstellen. Der dadurch erreichte Humusaufbau mindert die Erosion und die Strahlungsreflektion, was das Mikroklima fördert. Bei einer Umstellung des Anbausystems auf nicht-wendende Bodenbearbeitung ist die Fruchtfolge so zu gestalten, dass der Krankheits- und Unkrautdruck gering bleibt.

FRIELINGHAUS et al. (2002) spricht sich grundsätzlich für erosionsreduzierende und bodenschonende Fruchtfolgegestaltung aus. Dazu gehört einerseits die Reduzierung der Anteile von Hackfrüchten und Mais als auch der Anbau von Zwischenfrüchten. Voraussetzung sind

Jahresniederschläge von mindestens 500 mm, um insbesondere den im Herbst auflaufenden Winterzwischenfruchtarten gute Aufwuchschancen zu bieten.

Weiterhin ist auf die Einhaltung der optimalen Aussattermine zu achten, da zu späte Aussaat den Unkrautdruck erhöht, zu frühe Aussaat aber eine üppige Bestandsentwicklung fördert, welche die Aussaat der Folgefrucht erschwert.

Der Einsatz bodenschonender Landtechnik, wie Breitreifen, ist zu bevorzugen, um Bodenverdichtungen auf ein Minimum zu beschränken.

### Bewässerung

Wenn die Erzeugerpreise für landwirtschaftliche Produkte auf dem derzeitigen Niveau bleiben bzw. den Marktprognosen folgend noch steigen, wird die Bewässerung für bestimmte Standorte in Brandenburg in Zukunft wirtschaftlich interessant werden. Besonders auf leichten Böden im Ackerbau und auch im Gemüsebau kann bereits der temporäre Einsatz geringer Wassermengen zur Ertragsstabilisierung beitragen. Zunächst stellt die Einrichtung von Bewässerungstechnik für die Betriebe jedoch eine größere Neuinvestition dar. Mittelfristig hat eine Anpassung des Pflanzenbaus durch verstärkten Einsatz von Bewässerungstechnik weitreichende Strukturveränderungen im Landwirtschaftssektor zur Folge. Die ostdeutschen Bundesländer haben dabei evtl. strukturelle Vorteile, da sie auf Erfahrungen und Bestände früher angewandter Bewässerungssysteme zurückgreifen können. Bei der Etablierung sind Anreize oder Restriktionen zu setzen, so dass nur sehr effiziente, modernste Verfahren zum Einsatz kommen. Von politischer Seite ist auch eine Koordinierung der verschiedenen Wasser- und Landnutzer gefordert, um so u. a. den allgemein steigenden Bedarf an Grundwasser möglichst gering zu halten (WESSOLEK et al., 2002).

### Nährstoffversorgung

Grundsätzlich stabilisiert eine optimale Nährstoffversorgung das Pflanzenwachstum unter Stressbedingungen. Es sind daher Maßnahmen zu ergreifen, die Bodenfruchtbarkeit und den Humusaufbau fördern, um den Vorrat an Bodenstickstoff hoch zu halten. Auch das gezielte Ausbringen organischer Dünger und die Ausweitung der Fruchtfolgen unterstützen die Humusbildung.

Zudem ist eine hohe Verfügbarkeit von Phosphor, Kalium und Magnesium auch unter trockenen Bedingungen im Frühjahr und Frühsommer zu gewährleisten. Die Stickstoffdüngung ist dagegen bei höheren Temperaturen und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen für eine effiziente Wassernutzung zu vermindern (z. B. WESSOLEK & ASSENG, 2006). Weiterhin kann die N-Effizienz durch bestandspezifische Analyse- und Ausbringungsverfahren erhöht und die Gefahr der Auswaschung minimiert werden. So ist ein Zusammenfassen der 2. und 3. N-Gabe bei Wintergetreide und Anwendung stabilisierter N-Dünger zum Schossen je nach Bestandesentwicklung zu prüfen.

Statt standardisierter oder erfahrungsbasierter N-Gaben sollte eine möglichst genaue Bedarfsermittlung erfolgen. Besonders auf den großen Schlägen in Brandenburg ist dabei auch auf die Heterogenität des Bodens zu achten. Es ist im Einzelfall eines Betriebes zu prüfen, ob sich teilflächenspezifische, sensor- oder datengestützte Düngungstechnik rentabel einsetzen lässt (siehe u.a. REICHARD & JÜRGENS, 2007; neueste Forschungsergebnisse unter [www.preagro.de](http://www.preagro.de)). Weiterhin sind moderne Verfahren der Pflanzen- und Bodenanalyse als auch der Flüssigdüngerapplikation (Injektionsdüngung und Blattdüngung) zu erproben. Auch

die Anwendung von Humusbilanzierungsverfahren sollte unterstützt oder zur Bedingung bei Agrarumweltmaßnahmen gemacht werden.

Die Reduzierung des Vorrates an Bodenwasser und geringere Sickerwassermengen aufgrund verminderter Niederschläge bewirken mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Anstieg der Konzentrationen beim Nährstoffaustrag, speziell von Nitrat und Sulfat. Diese Problematik wird bisher nur wenig diskutiert, hat jedoch weitreichende Effekte auf das Bodensystem. Wie dramatisch die Auswirkungen sein können, zeigen Modellversuche von EULENSTEIN et al. (2007) für Märkisch-Oderland. Dabei nimmt die Nitratkonzentration um das dreifache zu, während sich die Sulfatkonzentration mehr als verdoppelt.

### Nutztierhaltung

Im Bereich der Nutztierhaltung ist Züchtung hitzetoleranter Rassen eine wichtige Strategie für die zukünftige Entwicklung. Ebenso besteht in der Anpassung der Futter- und Nährstoffversorgung eine Handlungsoption des Betriebsmanagements.

In der Tierzucht besteht bei Wiederkäuern eine negative Korrelation zwischen Hitzestresstoleranz und Produktivität. Daher sind Hochleistungskühe sehr sensibel bezüglich hoher Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit. Zusätzlich wirkt sich auch eine erhöhte Ozonbelastung negativ auf Hochleistungstiere aus. Bisher gibt es jedoch in Deutschland wenig Kreuzungsversuche mit gut adaptierten Rassen aus anderen Klimazonen wie Australien oder Neuseeland. Als vorzüglichste Handlungsmöglichkeit erscheint derzeit die Nutzung von Holstein-Frisian, die in Israel trotz Hitze sehr hohe Milchleistungen erbringen (RATH et al., 1994).

Eine Anpassung der Nährstoffversorgung ist notwendig, da bei Hitzestress die aufgenommene Futtermenge zurückgeht. Als Reaktion ist dann eine Erhöhung der Energiekonzentration erforderlich. Bei Milchkühen ist trotzdem auf ein ausgewogenes Verhältnis von Rohfaser und Protein zu achten. Sowohl die Rationszufuhr in kühleren Tageszeiten als auch die Rationsgrößen können variiert werden. Auf eine ausreichende Wasser- und Mineralstoffversorgung ist zu achten. Generell werden betriebliche Anpassungen im Futter- und Weidemanagement erforderlich sein, insbesondere um eine hohe Futterqualität unter veränderten Wachstumsbedingungen (s. o.) zu erhalten.

Eine Ausweichstrategie stellt die Veränderung der physikalischen Umweltbedingungen, d. h. investive Maßnahmen der Stalltechnik dar. Ziel muss eine möglichst geringe Erwärmung des Gebäudes und hohe Luftzirkulation sein. In der intensiven Schweine- und Geflügelhaltung sind investive Maßnahmen für Kühltechnik mittelfristig unabdingbar. Dabei ist mit einem steigenden Energieaufwand von mindestens 10 % zu rechnen. Alternativ ist eine Verringerung des Tierbesatzes pro Stallfläche um mindestens 10 % denkbar (DEFRA 2000). In der Rinderhaltung wird sowohl die Stallkonstruktion (Zweiflächenbuchten, Lüftungsöffnungen) als auch die Materialwahl Veränderungen erfahren. Offenlaufställe, die im Ökologischen Landbau verbreitet sind, bieten hier gute Voraussetzungen. Versuche haben zudem gezeigt, dass besonders die Berieselung über Sprinkleranlagen den Hitzestress reduziert und die Milchleistung steigern kann (BROUCEK et al., 2006).

Bei Betrieben mit Weidehaltung sind eine ausreichende Beschattung, genügend Wasserstellen und ausreichende Futterversorgung auch bei Sommertrockenheit von Bedeutung. Höhere Niederschläge im Winter beeinflussen das Weidemanagement bei extensiver Haltung, da das Risiko irreparabler Schädigung der Grasnarbe zunimmt.

Insgesamt ist festzustellen, dass die notwendigen Anpassungen der Nutztierhaltung durch technisch-züchterischen Fortschritt und durch das Betriebsmanagement erreichbar sind.

### 5.4.1 Allgemeine Schlussfolgerungen

Grundsätzlich sind die dargestellten Ergebnisse und Ableitungen unter dem Vorbehalt zu sehen, dass die Forschung zu den Folgen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktion in Deutschland erst am Anfang steht. Aufgrund des Transfers von Feldforschungsergebnissen und der vorsichtigen Interpretation von Versuchen lassen sich jedoch bereits mögliche Szenarien beschreiben und eingrenzen. Dies betrifft jedoch nur einzelne Faktoren und deren mögliche Wirkungsketten. Die Wechselwirkung der verschiedenen Klimafaktoren und die Komplexität der Agrarökosysteme machen differenzierte und regionsspezifische Aussagen sehr schwierig.

Relativ eindeutig lässt sich für den nordostdeutschen Raum ableiten, dass die Wasserverfügbarkeit in Zukunft der entscheidende Faktor sein wird, der über die Ertragsentwicklung in der Pflanzenproduktion entscheidet (SCHINDLER et al., 2007). Ursache dafür sind das stärker kontinental geprägte Klima und die vorherrschenden leichten Bodenarten.

Der mögliche Kompensationseffekt einer CO<sub>2</sub>-Erhöhung auf temperaturbedingte Ertragsrückgänge wird daher wahrscheinlich in Berlin und Brandenburg nicht in dem Maße auftreten, dass das durchschnittliche Ertragsniveau stabil gehalten werden kann.

Ein weiterer wichtiger Faktor stellt die Erarbeitung von klimarelevanten Anpassungsstrategien und ihre Kommunikation in die landwirtschaftliche Praxis dar. Die frühzeitige Umstellung des Betriebsmanagements kann zusammen mit dem technisch-züchterischen Fortschritt wesentlich zur Vermeidung oder Verminderung von negativen Folgen beitragen.

Zuversicht kann in soweit bestehen, dass sich schon heute eine Vielzahl von Handlungsoptionen abzeichnet, die durch weitere intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten problem- und standortspezifische Lösungen ergänzt und spezifiziert werden können. Deshalb sollte auch die Forschungspolitik in Berlin und Brandenburg weitere Aktivitäten einleiten, neues anwendungsorientiertes Wissen zu erarbeiten (vgl. SAG 2007).

### 5.4.2 Betriebspezifische Anpassungsmöglichkeiten

Während sich die bisherigen Ausführungen allgemein an landwirtschaftliche Landnutzer und Agrarpolitik richten, werden jetzt noch zusätzlich folgende spezifische Handlungsempfehlungen angeführt, welche sich aus den Ergebnissen der Modellrechnungen ableiten. Weitere Ausführungen zu möglichen Handlungsoptionen der Politik finden sich im Kapitel 9.

Wie die Ergebnisse der Szenarienrechnungen in 5.3 zeigen, sind deren Ergebnisse stark von den Kostenstrukturen und Preisniveaus abhängig. Die völlige Aufgabe von Grünland oder leichten Ackerflächen ist auch unter Liberalisierungsbedingungen in der Praxis unwahrscheinlich. Extrem extensive Verfahren (in Bezug auf die eingesetzten Betriebsmittel sowie Arbeitskosten) werden unter solchen Bedingungen sicherlich zumindest teilweise den Weg in die landwirtschaftliche Praxis finden und die im Modell „frei verfügbaren Flächen“ für den landwirtschaftlichen Anbau nutzen.

Im Hinblick auf die zunehmende Bedeutung des Energiepflanzenanbaus auf den Betrieben (BMU, 2007; NITSCH, 2007) soll die Modellierung möglicher Anpassungsstrategien die Chancen darstellen, die sich aus einem erweiterten Kulturartenspektrum ergeben können. Unter den energetisch nutzbaren Anbausystemen finden sich insbesondere bei der holzigen Biomasse einige trockenheitsresistentere Kulturarten, wie z. B. die KUP (Kurzumtriebsplantagen) aus Pappeln oder Robinien auf Trockenstandorten, auf die in Kapitel 8 noch näher eingegangen wird. Auch die Betriebszweigdiversifizierung über die Erzeugung von Bioenergie in Biogasanlagen, welche neben der Gülle der betrieblichen Tierproduktion/Milchviehhaltung

auch Biomasse aus Energiepflanzen zur besseren Auslastung des Blockheizkraftwerks eingesetzt, wird dort als Anpassungsstrategie modelliert und diskutiert.

Für die Entscheidungsfindung bei der Auswahl von angepassten Anbaukulturen bzw. Fruchtfolgen im Betrieb muss bedacht werden, dass selbst das Auftreten eines Totalausfalls alle 5 Jahre nur mit jährlichen Ertragsverlusten von 20 % angerechnet werden kann. Für den Betriebsleiter stellt sich die Frage, welche trockenheitsangepasste Fruchtart diese Differenz zur bisher vorzüglichen Anbauweise ohne Deckungsbeitragsverluste ausgleichen kann, weil sie in Jahren mit Extremereignissen weniger von Ertragsverlusten betroffen ist bzw. insgesamt eine Ertragsstabilität auf ausreichendem Niveau aufweist. Eine Risikostrategie könnte Kulturarten mit insgesamt längeren oder mehrjährigen Wachstumsperioden beinhalten, bei denen kurzfristige negative Anbauverhältnisse relativ geringer im Ertrag durchschlagen.

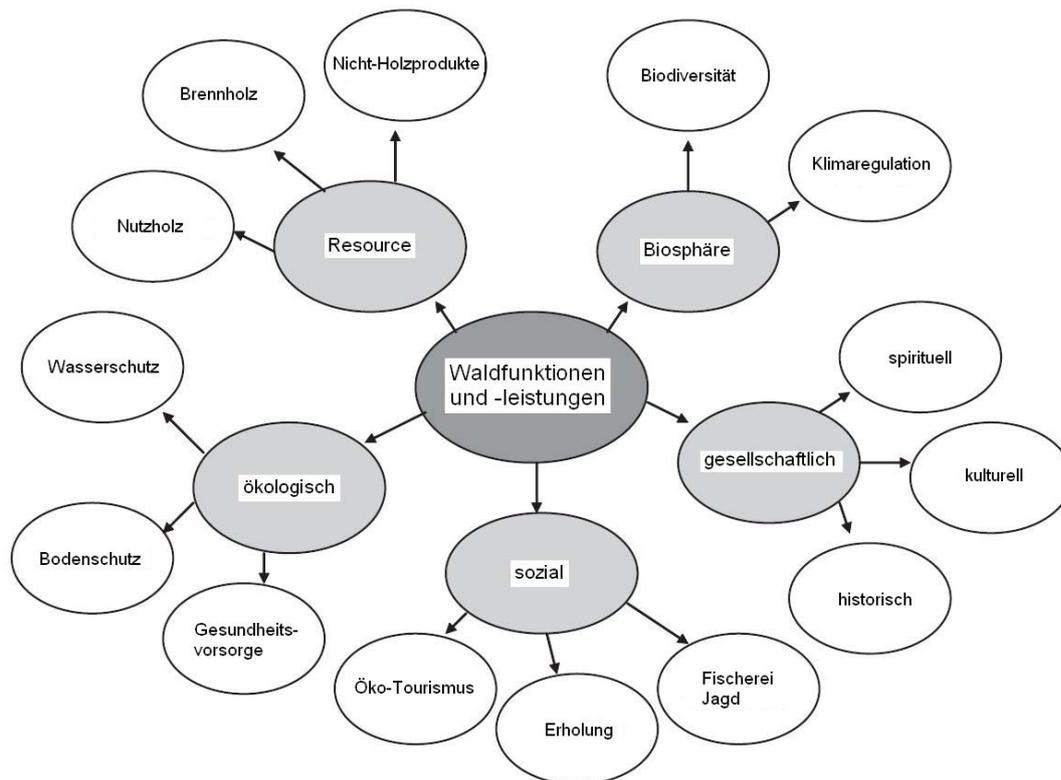
Als allgemeine pflanzenbauliche Maßnahmen zur Sicherung und Schonung des Wasservorrates im Boden, die als gute fachliche Praxis und Fruchtfolgerestriktionen Eingang in das Betriebsmodell finden, können folgende Anpassungsmaßnahmen empfohlen werden:

- Aufnahme des Niederschlags ganzjährig absichern
- konservierende Bodenbearbeitung, Direktsaat
- Erhalt organischer Substanz
- Düngung an Wasserangebot anpassen
- Beregnung zur Bestandesetablierung nutzen (wobei Fragen zu den Investitions- und Betriebskosten sowie den Wasserrechten zu klären sind).

## 6 Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldwirtschaft

### 6.1 Einleitung

Der derzeitige Zustand der Wälder sowie wirtschaftliche und gesellschaftliche Anforderungen an diese wurden von RASHID et al. (2005) im Rahmen des Millenium Ecosystem Assessment zusammengestellt (vgl. *Abbildung 6.1*).



**Abbildung 6.1** Von europäischen Wäldern bereitgestellte Funktionen und Dienstleistungen (RASHID et al., 2005, S. 601).

Die Einflüsse von Klimawandel auf Wälder lassen sich auf 3 Ebenen charakterisieren: Individuum (Pflanze, Tier), Bestand (Population) und Art, sowie nach den Wirkkomplexen Temperatur, Niederschlag, CO<sub>2</sub>-Konzentration und den Extremen von Temperatur und Niederschlag. Wechselwirkungen zwischen Pflanzen sowie Interaktionen mit Schadorganismen sind wichtige Untergruppen dieser Themenfelder. Die Reaktionen auf einzelne Faktoren sind jedoch immer im Wechselspiel mit anderen Wirkfaktoren zu sehen, so dass die Aufdeckung eines Effektes an einem Versuchsstandort nicht automatisch eine flächendeckende Gültigkeit im Gesamtgebiet bedeutet. Es ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich, alle oben dargestellten Funktionen und Aspekte zu betrachten. Sie werden hier aufgeführt, um dem Leser die Komplexität der Thematik vor Augen zu führen.

### 6.2 Ausgewählte Klimawirkungen im Wald

Im ersten Teil dieses Kapitels werden die Wechselwirkungen und Einflüsse generell und ohne direkten Bezug zu den Berliner Forsten abgehandelt, da nicht alle Einflüsse derzeit auf die

Wälder Berlins wirken müssen. Die Situation kann sich in einigen Jahren bei geänderten Umweltbedingungen und/oder geänderten Ansprüchen der Bevölkerung jedoch anders darstellen.

### 6.2.1 Einflüsse auf Ebene der Einzelpflanze

#### Strahlung

Nach NEMANI et al. (2003) sind Wälder in Europa durch die Temperatur (Nordeuropa, Höhenlagen), die Strahlung (Westeuropa) oder die Wasserverfügbarkeit (Mediterran, Osteuropa) beschränkt. Für Deutschland sind alle diese Faktoren wichtig (vgl. *Abbildung 6.2*). Im Bereich der Berliner Forsten sind jedoch überwiegend Limitationen durch die Wasserverfügbarkeit zu beachten. Steigende Einstrahlung (an photosynthetisch aktiver Strahlung), wie sie im Rahmen des Klimawandels erwartet wird, dürfte zu keinen signifikanten Einflüssen auf die Zuwachsleistung, die Gesundheit oder die Prädisposition für Schadereignisse und –organismen führen.



**Abbildung 6.2** Klimabeschränkungen des Pflanzenwachstums in Europa (Ausschnitt aus NEMANI et al., 2003, bearbeitet).

#### Temperatur

Steigende Temperaturen erhöhen per se die Photosyntheseleistung der Pflanzen sowie die Entwicklungsgeschwindigkeit von Lebensprozessen. Erst oberhalb einer – je nach Baumart unterschiedlichen – Temperaturschwelle steigt die Atmung stärker als die Photosynthese, so dass die Netto-Photosyntheseleistung wieder abnimmt (LARCHER, 1984). Der optimale Bereich liegt je nach Pflanzenart für die Pflanzen der gemäßigten Breiten bei ca. 18 – 25 °C.

Durch die Auswirkungen einer Temperaturerhöhung auf die Phänologie der Bäume kann es unter anderem zu Verschiebungen im Austriebsverhalten der Bäume kommen. Hierbei können verschiedene Baumarten unterschiedlich am Anfang und Ende der Vegetationszeit reagieren. Die Vegetationszeit der Rotbuche wird zum Beispiel deutlicher nach vorne verschoben als die der Stieleiche, gleichzeitig jedoch der Blattfall im Herbst bei Eiche stärker gefördert als bei Buche. Die Stieleiche kann somit von steigenden Temperaturen negativ beeinflusst werden, während die Rotbuche eher profitiert (KRAMER, 1995).

Zu hohe Temperaturen können verschiedene phänologische Prozesse jedoch auch hemmen oder sogar unmöglich machen (z. B. Winterruhe). Sie geht einher mit einem ansteigenden

Transpirationswasserbedarf, was bei geringer Wasserverfügbarkeit zu Trockenstress führen kann. Wichtig für die Auswirkungen ist, in welcher Entwicklungsphase z. B. der Kultur welche Temperaturen erreicht oder überschritten werden. Für Altbäume dürften auch in Zukunft keine für sich alleine negativen Temperaturen auftreten. Bei Kulturflächen – insbesondere Pflanzungen auf Freiflächen – ist jedoch im Frühjahr oder Sommer mit Hitzeschäden an Jungpflanzen zu rechnen.

### Kohlendioxidkonzentration in der Luft

Steigende CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wirken als Dünger (BEEDLOW et al., 2004; NORBY et al., 1999), da mit steigendem CO<sub>2</sub>-Partialdruck auch die Photosyntheseleistung zunimmt. Bei Waldbäumen sind zum Beispiel für *Fagus sylvatica* (Rotbuche) und *Quercus petraea* (Traubeneiche) (ASSHOFF et al., 2006) solche Effekte bekannt, während andere Arten nicht signifikant zu reagieren scheinen, z. B. *Carpinus betulus* (Hainbuche), *Prunus avium* (Wildkirsche), *Tilia platyphyllos* (Sommerlinde) (ASSHOFF et al., 2006). Neben einer gesteigerten Holz- (= Biomasse-) Produktion sind geänderte Allometrien (zum Beispiel bei Fichte: anderes Spross-Wurzel-Verhältnis) (HATTENSWILER und KORNER, 1998), höhere Stresstoleranz (zum Beispiel gegen Ozonstress bei Birke, (RIIKONEN et al., 2004) oder Trockenheit generell) (HATTENSWILER und KORNER, 1998) sowie höhere C:N-Werte in einzelnen Organen (Blättern) nachgewiesen worden. Je nach Art kann es auch zu einer Ausweitung der Vegetationsperiode kommen, da eine Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre zu einem späteren Laubfall führen kann (TAYLOR et al., 2008). Solange CO<sub>2</sub> Minimumfaktor für die Photosynthese ist, ist mit der Steigerung der CO<sub>2</sub>-Konzentration auch eine Zunahme der Produktivität zu erwarten. Problematisch ist es, dass viele Versuche an Kleinpflanzen oder/und in Gewächshäusern durchgeführt wurden und oft noch nicht hinreichend geklärt ist, ob die so gewonnenen Ergebnisse auf Großpflanzen unter Freilandbedingungen übertragbar sind (RASMUSSEN et al., 2002, PACALA 2003)<sup>25</sup>. KÖRNER (2006) wies zusätzlich darauf hin, dass Effekte über die Zeit einer Sättigung unterliegen können.

### Ozon

Ozon (O<sub>3</sub>) verringert allein genommen den Chlorophyllgehalt und damit die Photosyntheseleistung der Bäume (vor allem junger Pflanzen) und führt zu Änderungen in der Aufteilung der neu gebildeten Pflanzenbiomasse (SKARBY et al., 1998), aber auch hier sind Untersuchungen an Altbäumen selten. In kombinierten Versuchen mit Begasung von Pappeln mit CO<sub>2</sub> und Ozon erfolgte häufig eine Neutralisation des negativen Einflusses des Ozons durch Kohlendioxid (DICKSON et al., 2001, GIELEN und CEULEMANS, 2001). Die verfügbaren Informationen zeigen Reduktionen der Photosynthese bei Buche *F. sylvatica*, jedoch nicht signifikant, (MATYSSEK et al., 2007). BOISVENUE und RUNNING (2006) weisen auf Interaktionen mit Frost und Insektenschäden hin, z. B. auf gestörte Verholzung von Trieben und damit erhöhte Gefährdung von Bäumen durch Frühfrost. Da die Tageskonzentrationen an O<sub>3</sub> in Abhängigkeit von Wetterlage und Topographie stark schwanken können, sind derzeit keine belastbaren Aussagen über künftig mögliche Spitzenwerte zu treffen. Im Rahmen der bekannten Änderungstrends kann man jedoch davon ausgehen, dass meistens die Effekte von O<sub>3</sub> durch CO<sub>2</sub> oder andere positive Einflüsse überlagert werden können.

<sup>25</sup> PACALA, S.W., J.P. CASPERSON and M. HANSEN. 2003. Forest Inventory Data Falsify Ecosystem Models of CO<sub>2</sub> Fertilization., <http://www.eeb.princeton.edu/FACULTY/Pacala/abstracts.htm>, 27.11.2007

### Extremereignisse

Bei Stürmen ist in Deutschland derzeit noch keine Änderung der Stärke oder Häufigkeit nachweisbar (SCHÖNWIESE, 2007). Die Schädigung der Stürme kann sich gleichwohl ändern, da diese auch von den betroffenen Objekten (=Wäldern, Bäumen) und ihrer Empfindlichkeit beeinflusst wird. Frostfreie, feuchte Witterung im Winter verringert die Verankerung der Bäume im Boden und erhöht damit das Windwurfisiko.

### Interaktionen

Die unterschiedlichen Reaktionen von einzelnen Arten auf Klimawandeleffekte führen zu Änderungen im Konkurrenzverhalten der Arten untereinander, wie z. B. SAXE und KERSTIENS (2005) für Buchen- und Eschensämlinge zeigten. Auch innerhalb eines Bestandes können Bäume je nach sozialer Stellung unterschiedlich reagieren (PIUTTI und CESCATTI, 1997).

### Trockenheit

Steigende Temperaturen können bei schon jetzt nicht ausreichendem Wasserdargebot auf vielen terrestrischen Standorten im Bereich der Berliner Forsten zu einer Verschärfung der Trockenheitsproblematik führen. Rennenberg et al. (2006) haben die Auswirkungen von Trockenheit auf Bäume zusammengefasst. Generell führt ein Rückgang der Photosyntheseleistung durch Hitze bei gleichzeitiger Reduktion der CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Wassermangel zu mehr oder weniger deutlichen Zuwachsrückgängen. Besonders Buche ist hiergegen empfindlich, während z. B. die Traubeneiche toleranter ist (BACKES und LEUSCHNER, 2000, BREDI et al., 1993, CZAJKOWSKI et al., 2005, RENNENBERG et al., 2004). Im Gegensatz zu der oben beschriebenen Wirkung von steigenden Temperaturen alleine auf Buchen und Eichen wirkt Trockenheit bzw. Jahre mit Trockenstress stärker auf Buchen als auf Eichen (BONN, 2000). Diese Effekte sind jedoch standortsabhängig und nicht generalisierbar, da praktische Erfahrungen z. B. in den Berliner Forsten zu einem gegenteiligen Ergebnis kommen können (Riesterpatt, pers. Mitt.). Trockenheit kann indirekt auch zu verringerter Nährstoffverfügbarkeit führen, wenn Stoffumsetzungsprozesse im Boden gebremst werden (RENNENBERG et al., 2006) oder keine Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln erfolgen kann.

## **6.2.2 Einflüsse auf Bestandesebene**

Unterschiedliche Reaktionen auf Umweltveränderungen verschieben Konkurrenzverhältnisse zwischen Baumarten, so dass in Mischbeständen die Anteile der Arten sich ändern werden – oder ein anderer Steuerungsaufwand betrieben werden muss. In Reinbeständen verschiebt sich hingegen das Niveau der Zustandsgrößen eher parallel, wenn auch ggf. sprunghaft.

### Böden

Unter warmen und feuchteren Bedingungen wird sich tendenziell die Geschwindigkeit der Nährstoffumsetzung erhöhen (LENSING & WISE, 2007, REICHSTEIN et al., 2003). Warm-trockene Bedingungen hingegen führen zu Rückgängen in den Nährstoffumsetzungen und damit eventuell auch zu Zuwachsrückgängen und Anstiegen der Waldbrandgefahr.

## Feuer

Die möglichen Folgen von Feuern sind neben einer kompletten Zerstörung des aufstockenden Bestandes eine Volatisierung der Streuschicht mit assoziierten Nährstoffverlusten und eine Hydrophobisierung des Oberbodens. Letzteres führt zu verringerter Infiltration und/oder erhöhter Bodenerosion. Die Beseitigung unerwünschter Bodenvegetation und Konkurrenten sowie die Verfügbarmachung von Nährstoffen sind unter unseren Bedingungen nicht von Bedeutung. Unter derzeitig abzusehendem klimatischen Wandel ist aus zwei Gründen eine Erhöhung der Waldbrandgefahr zu erwarten: die steigenden Temperaturen führen zu einer höheren Branddisposition der Bestände, und ein geändertes Freizeitverhalten der Bevölkerung kann zu vermehrten Entzündungen führen. Entstehende Feuer sind ggf. von höherer Intensität als die meisten derzeitigen Brände.

## Insekten

Das Schadpotenzial von Insekten wird neben der Prädisposition der Pflanzen durch die zeitliche Koinzidenz der Phänologie der Arten mit der ihrer Wirte, Fraßpflanzen und Antagonisten mitbestimmt. Derzeit sind Untersuchungen häufig auf der Basis der Temperatursummenregel durchgeführt worden, die eine konstante inverse Beziehung zwischen Temperatur (-summe) in einem Zeitraum und Entwicklungsdauer eines Insekts unterstellt. Demnach ist bei steigender Temperatur mit einer Verlängerung der günstigen Temperaturbereiche und einer Verkürzung der Generationsdauer zu rechnen, somit auch mit höheren Schäden. Andere Regelungsmechanismen wie z. B. die Photoperiode werden jedoch nicht berücksichtigt. So ist unklar, ob z. B. eine weitere Generation von Borkenkäfern möglich ist, weil die Temperaturen zwar ausreichend hoch sind, die Tageslänge jedoch nicht mehr ausreicht, bei den Weibchen eine Eireifung auszulösen.

Andere Effekte betreffen die Fraßtätigkeit: steigende Temperaturen führen zu einem schnelleren Fraß der Larven, der die natürliche „Nachlieferung“ durch das Laubwachstum der Bäume eventuell übersteigt und somit das Kahlfraßrisiko steigen lässt. Bei Großschmetterlingen kann durch die steigende Temperatur jedoch deren Lebensdauer soweit verkürzt werden, dass die Imagines sterben, bevor sie zu einer Eiablage kommen (MÖLLER, 2007<sup>26</sup>). Derzeit sind die Populationsmodelle, die für Insekten bestehen, nicht in der Lage, eine komplette Analyse aller durch Klimawandel verursachten Einflüsse und ihrer Auswirkungen auf Schadinsekten zu ermöglichen. Für die Forstpraxis kann deshalb nur der Ratschlag gegeben werden, am bisherigen Forstschutzwesen festzuhalten, nicht in Panik zu verfallen, jedoch auf keinen Fall das Monitoring „schleifen“ zu lassen. Ebenso muss auf das Auftreten neuer Schädlinge (Neozoen oder vormals unauffälliger oder kommensaler Organismen) geachtet werden. Der Kontrollaufwand liegt demnach höher als derzeit, da auf mehr und neue Organismen geachtet werden muss.

## Sturm (Windwurf, Kronenabschläge, Verkehrssicherungspflicht)

Das IPCC geht davon aus, dass in Mitteleuropa generell vermehrt mit Winterstürmen zu rechnen ist (IPCC, 2007). Dies ist jedoch noch nicht vollständig statistisch abgesichert (Schönwiese 2007), und genaue Zahlen sind derzeit nicht herleitbar, da Sturmereignisse eine sehr große stochastische Komponente haben – und in ihrer Auswirkung auf Waldbestände von deren Prädisposition abhängen. Nach derzeitigem Kenntnisstand werden die Winter

<sup>26</sup> Vortrag auf der Tagung „Bewirtschaftung der Kiefer im Nordostdeutschen Tiefland“, Eberswalde, 15.11.2007

frostärmer, so dass die Wahrscheinlichkeit ansteigt, dass Stürme auf in aufgeweichtem, nicht gefrorenem Boden weniger fest verankerte Bäume treffen und somit das Windwurfrisiko ansteigt. Die Gefahr von Windbruch kann im Gegenzug sinken. Eine Steigerung der Häufigkeit und Intensität von Sommerstürmen kann ebenfalls erwartet werden, so dass hier vermehrt mit Schäden zu rechnen ist.

### Technische Produktion

Fehlende Frost- und Schneelagen können die Befahrbarkeit empfindlicher Standorte weiter einschränken, so dass diese Fläche noch extensiver als bisher genutzt werden müssen. Zunehmende Sturmwurfgefährdung und Einzelwürfe erhöhen jedoch den benötigten Kontrollaufwand.

### **6.2.3 Einflüsse auf Landschaftsebene**

Der Bereich der Berliner Forsten liegt derzeit für keine der betrachteten Hauptbaumarten an der klimatischen Grenze des Verbreitungsgebietes (ELLENBERG 1996, KÖLLING 2007), so dass nicht mit gravierenden Änderungen in der Baumartenzusammensetzung zu rechnen ist, wie sie THUILLER et al. (2006) und SYKES & PRENTICE (1996) für andere Teile Europas erwarten. Änderungen werden sich eher durch ein geändertes Störungsregime ergeben (mehr durchbrochene, aufgelockerte Bestände), was jedoch dem derzeitigen Waldentwicklungsleitbild tendenziell entgegenkommt. Nur auf sehr grundwassernahen oder -fernen Standorten kann es durch den Einfluss von Trockenheit zu Verschiebungen gegenüber dem Status quo kommen. Klimawandel kann jedoch die Gefahr durch invasive Arten zusätzlich erhöhen (CHORNESKY et al., 2005).

### Waldbrand

Waldbrände betreffen in der Regel größere Flächen. Ihre Entstehung ist zum größten Teil durch menschliches Tun oder Unterlassen verursacht, so dass die zukünftige Entwicklung der Freizeitnutzung der Wälder einen sehr großen Einfluss auf die Brandhäufigkeit hat. Die klimatischen Bedingungen, unter denen Brände entstehen können, werden sich in Zukunft häufen (BADECK et al., 2004), die Wahrscheinlichkeit für Brände also ansteigen.

## **6.3 Modellergebnisse für die Berliner Forsten**

### **6.3.1 Das Waldwachstumsmodell 4C: Durchführung und Ergebnisse**

Um konkretere Aussagen für den Bereich der Berliner Forsten ableiten zu können, wurden Modellrechnungen an Leitbeständen unter derzeitigem Klima und mit drei verschiedenen Realisationen eines Zukunftsszenarios durchgeführt. Die Modellierungen sind nicht flächenrepräsentativ, sondern geben anhand von Leitbeständen Hinweise auf mögliche künftige Chancen und Risiken.

Das ökophysiologische Waldwachstumsmodell 4C (FORESEE - FORESt Ecosystems in a changing Environment) beschreibt die Dynamik und das Wachstum von Waldbeständen (LASCH ET AL. 2005, SCHABER ET AL. 1999, SUCKOW ET AL. 2001). Es wurde am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung speziell für die Analyse der Auswirkungen von Klimaänderungen auf Waldbestände entwickelt und beschreibt, ausgehend von einem definierten Anfangszustand (z. B.

durch eine Forstinventur) oder auf Basis von simulierter Naturverjüngung, das Wachstum von Bäumen unter Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe, wobei Baumindividuen einer Art, gleichen Alters und identischer Baumdimensionen in Kohorten zusammengefasst sind. Produktion und Wachstum werden für jede Kohorte berechnet. Die Positionen der Individuen der Kohorten im Bestand sind nicht bekannt; es wird angenommen, dass die Bäume gleichmäßig auf der Bestandesfläche verteilt sind. Der Kronenraum des Bestandes ist in 0,5 m hohe Schichten eingeteilt. Der Boden wird den Bodenhorizonten folgend in beliebig viele Schichten beliebiger Dicke gegliedert. Neben den Bestandes- und Bodendaten benötigt das Modell Klimadaten in Tagesauflösung, um das entsprechende Wachstum (bzw. Mortalität) generieren zu können. Derzeit sind die wichtigsten mitteleuropäischen Baumarten sowie eine mediterrane und eine nordamerikanische Kiefernart im Modell parametrisiert. Die Ausgabe von Vorräten und Zuwächsen in verschiedenen ober- und unterirdischen Kompartimenten ist Standard.

Für die Modellierung standen die Forsteinrichtungsdaten von ca. 40 realen Waldbeständen aus dem Gebiet der Berliner Forsten zur Verfügung. Diese Bestände sollten für jedes Wuchsgebiet repräsentative Waldbilder darstellen und damit als Leitbestände für die Übertragung der Ergebnisse in die Praxis dienen.

Aus den Daten wurden für die vier abgestimmten Baumarten Buche, Eiche, Birke und Kiefer 80 Reinbestände<sup>27</sup> generiert, die möglichst das gesamte Standorts- (Standortsformen M1, M2, Z1, Z2)<sup>28</sup> und Altersspektrum (insgesamt 19 bis 151 Jahre) abdecken sollten. Die Standortinformationen konnten nicht aus den Leitprofilen zur kartierten Feinbodenform abgeleitet werden, da diese nicht zur Verfügung standen. Nach Kontakt mit der LFE Brandenburg wurde auf die Beschaffung verzichtet, da aufgrund hoher Unsicherheiten und Variabilitäten bei der Kartierung im Gelände und der Bestimmung z. B. der realen Elementgehalte der Böden oder der Korngrößenverteilung keine Gewährleistung dafür gegeben werden kann, dass die ausgewiesene Feinbodenform auch die realen Bedingungen besser widerspiegelt als es durch die Übernahme von Informationen aus z. B. der Waldbodentypenkarte (Wald-BÜK 1000, BGR 1998) erfolgt. Aus diesen Gründen wurden aus der Wald-BÜK die regionalen Bodentypen identifiziert, die die größte Ähnlichkeit zu den ausgewiesenen Feinbodenformen haben.

Die Waldflächen der Berliner Forsten liegen in Gebieten, die durch vier DWD-Klimastationen (Velten, Tempelhof, Eberswalde und Schönefeld) abgedeckt werden. Für die Simulationen wurden die Daten der jeweils nächstliegenden Station verwendet. Die Zuordnung war:

---

<sup>27</sup> Reinbestände deshalb, da derzeit noch zu wenig Wissen über sich eventuell durch Klimawandel ändernde Konkurrenzverhältnisse zwischen den Baumarten vorhanden ist und die Mischungsform ebenfalls eine große Rolle bei der weiteren Entwicklung spielt.

<sup>28</sup> „M“ – mittlere Nährstoffversorgung, „Z“ – ziemlich arme Standorte, „1“: frische, gut wasserversorgte Standorte, „2“: mittlere Wasserversorgung

**Region**

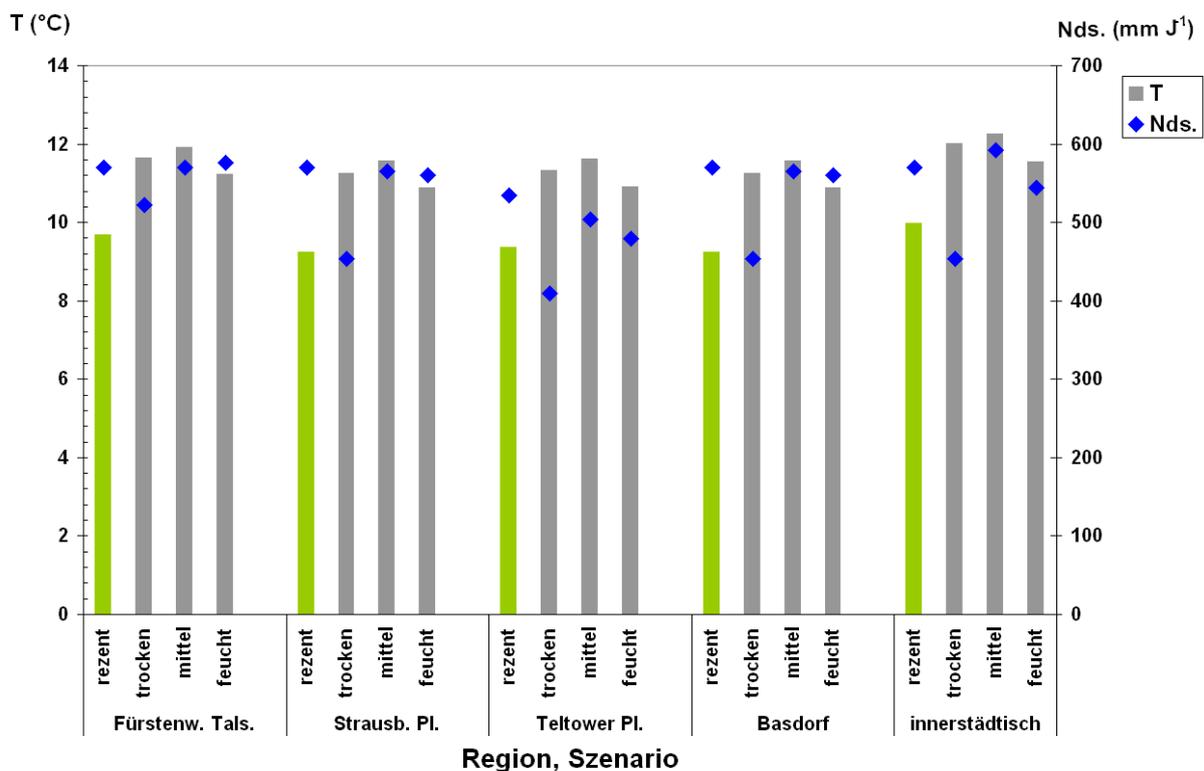
„Teltow“ (Teltower Platte)  
 „Fürstenw.“ (Fürstenwalder Talsande)  
 „Strausberg“ (Strausberger Platte)  
 „Basdorf“ (Basdorfer Sand-Hochfläche)  
 „Innerstädtisch“

**Klimastation:**

Schönefeld  
 Velten  
 Eberswalde  
 Eberswalde  
 Tempelhof

Modelliert wurde jeweils das Wachstum über 10 Jahre von 1990–1999 (aktuelles Klima, DWD-PIK-Datensatz) und von 2044–2053 (zukünftig mögliches Klima, STAR 2-Datensätze). Für die Zukunft wurden drei Realisationen (trocken, mittel, feucht, eingeteilt nach klimatischer Wasserbilanz) verwendet (Abbildung 6.3). Zu beachten ist hier, dass die klimatische Wasserbilanz als Differenz zwischen potenzieller und realer Verdunstung bestimmt wird. Sie hängt von Temperatur und Niederschlag ab, wobei niedrigere Temperaturen bei gleicher Niederschlagshöhe feuchtere Bedingungen ergeben. Bei den verwendeten Szenarien ist dies zu sehen, da die „feuchte“ Realisation nicht den höchsten Niederschlag, aber mit die niedrigsten angenommenen Temperaturerhöhungen zeigt.

Zielgrößen der Modellierung waren einerseits der Derbholzzuwachs als laufender Zuwachs über die 10 Jahre sowie die Versickerung als Anhalt für die mögliche Grundwasserneubildung unter entsprechenden Waldbeständen. Bewirtschaftungsmaßnahmen wurden nicht berücksichtigt. Alle Standorte wurden als grundwasserfern betrachtet, da sonst für die Berücksichtigung von horizontalen Wassertransporten eine Kopplung mit einem hydrologischen Modell hätte erfolgen müssen, was den Rahmen dieses Projektes gesprengt hätte.



**Abbildung 6.3** Klimakennwerte der für die Modellierung verwendeten Datenreihen. Quelle: Eigene Darstellung. Säulen: mittlere Jahrestemperatur (T) im betrachteten 10-Jahres-Zeitraum, grün: rezentes Klima (1990er Jahre), grau: Realisationen eines Zukunftsszenarios, jeweils von links nach rechts trocken, mittlere und feuchte Bedingungen; Rhomben: mittlerer Jahresniederschlag (Nds). Die Charakterisierung erfolgt über die klimatische Wasserbilanz, so dass die „feuchte“ Realisation nicht mehr Niederschlag aufweisen muss als die anderen.

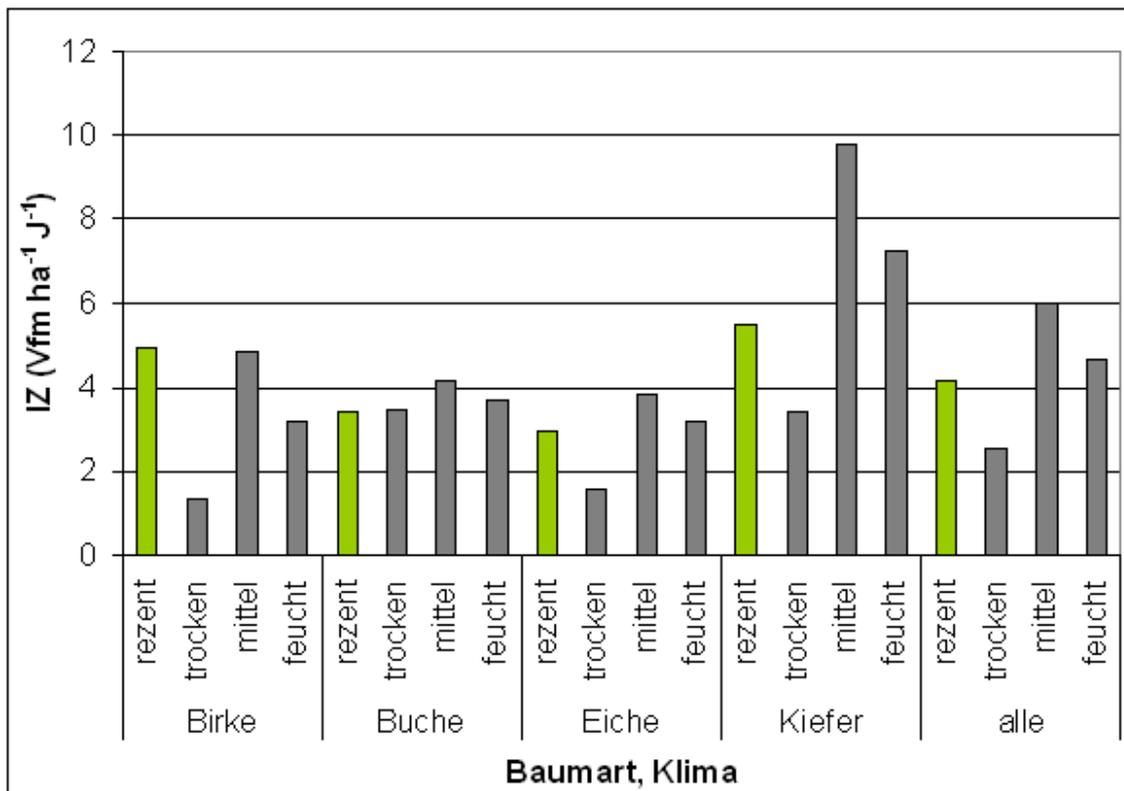
### 6.3.2 Ergebnisse

Die Abbildungen 6.4 – 6.6 zeigen einen Überblick über die abgeschätzten Zuwachswerte, Abb. 6.8 bis 6.10 geben die Auswirkungen auf die Versickerung (als Anhalt für die Grundwasserneubildung) an.

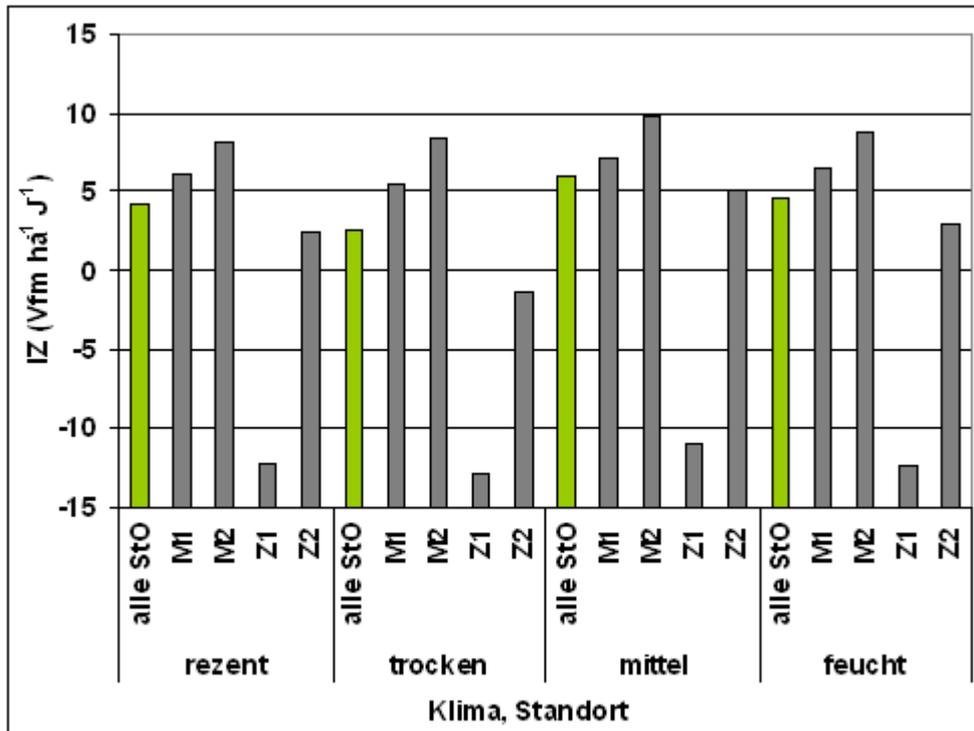
Wie klar zu sehen ist, reagieren Buchenbestände auf den betrachteten Standorten relativ wenig auf Klimaänderungen, Birken und Kiefern jedoch vergleichsweise stark. Dies hängt auch damit zusammen, dass letztere tendenziell eher auf schwachen Standorten stocken, die mangelnde Niederschläge nicht abpuffern oder durch bessere Nährstoffverfügbarkeit ausgleichen können. Die Buchenbestände befinden sich überwiegend auf Standorten, auf denen auch unter den „trockenen“ Gegebenheiten noch genügend Wasser verfügbar ist, weshalb sie in den Simulationen auch einen Mehrzuwachs zeigen, während die anderen Baumarten Zuwachsverluste aufweisen.

Über alle Standorte ist unter den Bedingungen des „trockenen“ Szenarios mit Zuwachsrückgängen zu rechnen, die Bedingungen der anderen beiden Szenarien sind für die betrachteten Wälder eher positiv. Das Wachstum der Bäume ist für das feuchte Szenario geringer als im mittleren, da bei letzterem eine höhere Temperatur und höherer Strahlungsgenuss positiv auf die Photosyntheseleistung wirken, jedoch (noch) kein genereller Wassermangel auftritt.

Alle gezeigten Werte sind NUR für die betrachteten Bestände gültig und dürfen AUF KEINEN FALL für die jeweilige Gesamtregion angenommen werden!!



**Abbildung 6.4** Laufender Zuwachs (IZ) für einzelne Baumarten, gemittelt über alle Wuchsgebiete. Klima: „rezent“ = Periode 1990 – 1999, „trocken“, „mittel“, „feucht“ = Realisationen der Klimaprojektion 2044 – 2053. Quelle: Eigene Darstellung.



**Abbildung 6.5** Laufender Zuwachs nach Standorten und Klimarealisierungen, gemittelt über alle Baumarten. Der negative Zuwachs auf den Z1-Standorten resultiert aus der Absenkung des Grundwasserspiegels auf diesen bisher gut wasserversorgten Standorten. Auf den mittleren Standorten (M-Standorte) kann diese Absenkung durch andere Faktoren (höhere Wasserhaltekapazität, bessere Nährstoffversorgung) relativ gut kompensiert werden. Quelle: Eigene Darstellung.

Auf M-Standorten steigen die Zuwächse aufgrund erhöhter Temperatur und längerer Vegetationsperiode an. Die M1-Standorte haben derzeit häufig Grundwasseranschluss, was für die Modellrechnungen jedoch aufgehoben werden musste. Der Zuwachs auf diesen Standorten ist deshalb geringer als auf den auch jetzt schon tendenziell grundwasserfernen M2- und Z2-Standorten. Die Vergleiche zeigen, dass auf den ärmeren Standorten (Z1, Z2) stärkere Reaktionen zu erwarten sind als auf den gut nährstoffversorgten. Auf den Z1-Standorten weisen die Bäume bedingt durch die derzeit gute Wasserversorgung einen relativ hohen Zuwachs auf, der bei den Modellrechnungen auf das Niveau eines entsprechenden Bodens OHNE Grundwasseranschluss „gestutzt“ wird. Das Modell ermittelt hier negative Zuwächse, die in dieser Art in der Realität nur bei extremen und sehr kurzfristigen Grundwasserabsenkungen zu erwarten sind. Beispiele für entsprechende Bestände sind in der Rheinebene im Raum Darmstadt/Frankfurt am Main zu besichtigen. Bei den entsprechenden Standorten der Berliner Forsten ist mit einer Zuwachsstagnation und einer erhöhten Anfälligkeit der Bäume gegenüber anderen Stressfaktoren (Insekten, Pathogene, Witterungsextreme) zu rechnen.

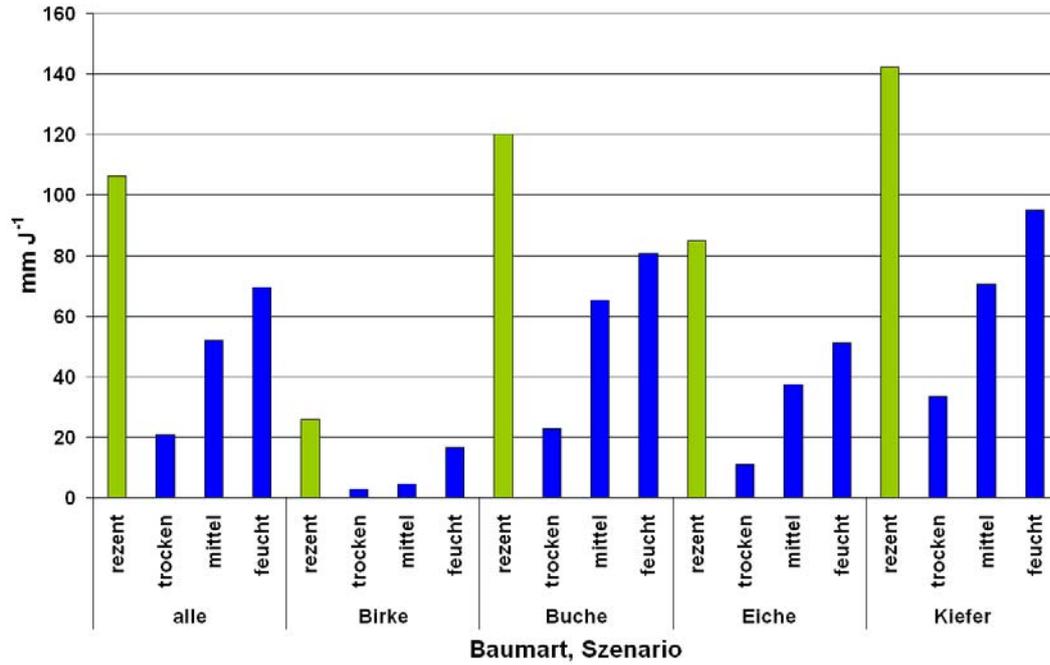


Abbildung 6.6 Versickerung nach Baumarten und Klimarealisation. Quelle: Eigene Darstellung.

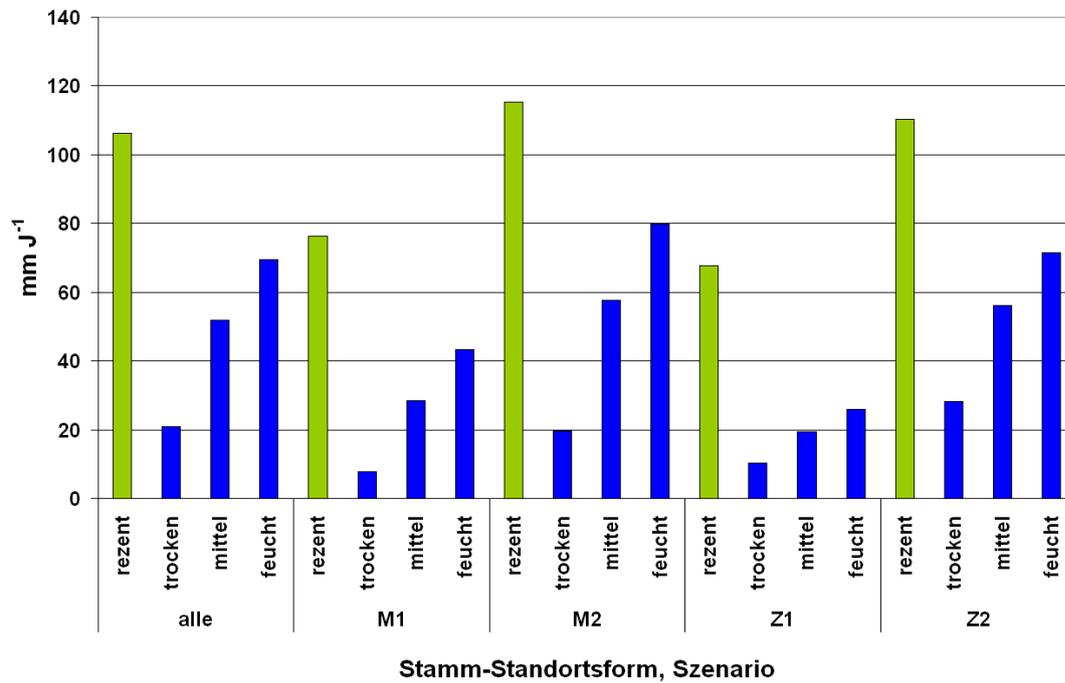
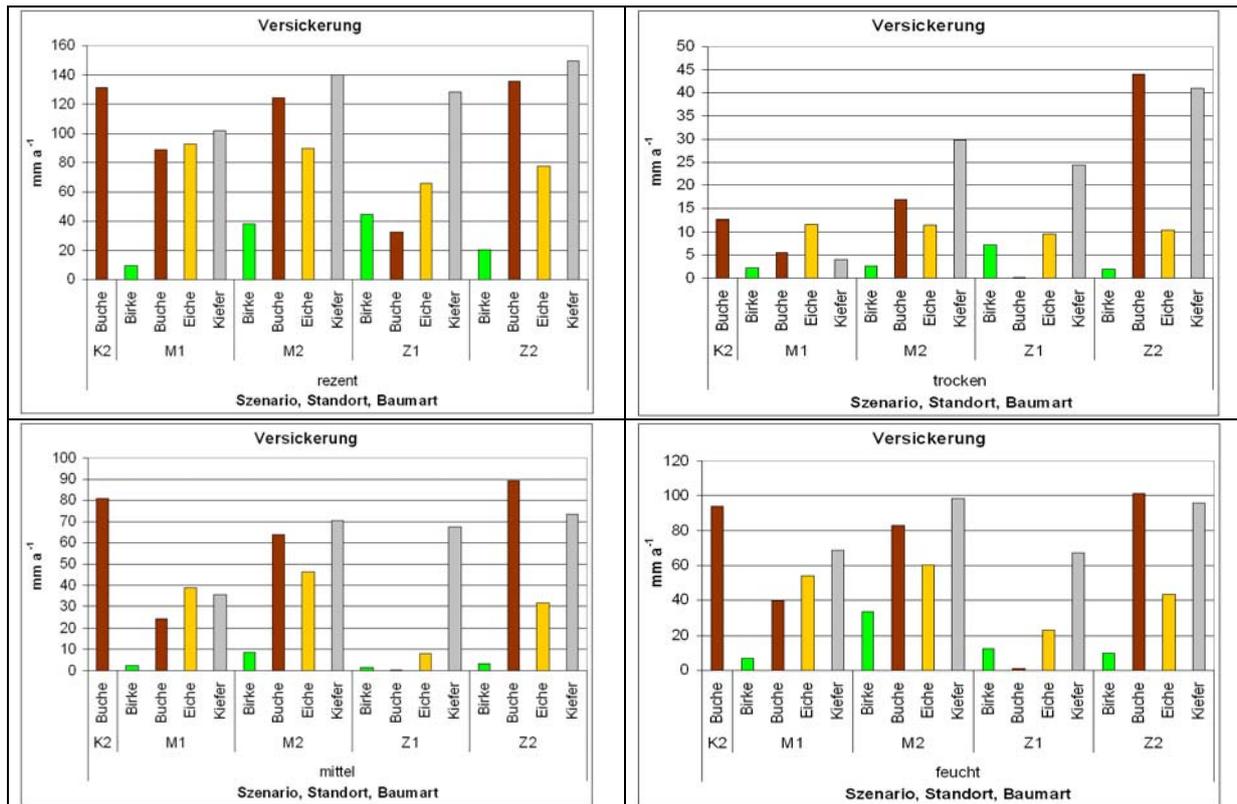
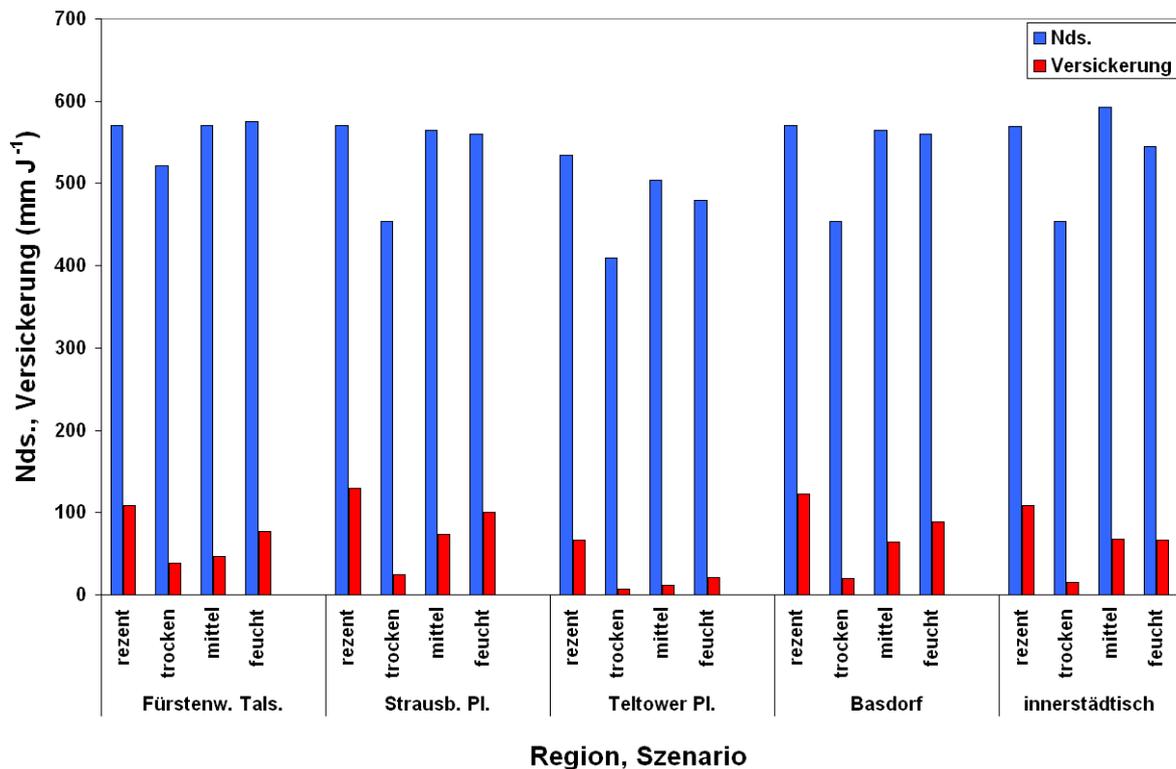


Abbildung 6.7 Versickerung nach Standorten und Klimarealisation. Die 1er-Standorte wurden ohne Grundwassereinfluss modelliert, und alle Angaben sind nur von den bodenphysikalischen und -chemischen Kenngrößen beeinflusst! Quelle: Eigene Darstellung.



**Abbildung 6.8** Versickerung nach Klimarealisation, Standorten und Baumarten. Die 1er-Standorte wurden ohne Grundwassereinfluss modelliert, und Ergebnisse für diese Standorte sind deshalb vorsichtig zu interpretieren. Während unter rezenten Bedingungen unter Kiefer die höchste Versickerung errechnet wird, ist insbesondere auf den armen Standorten ein Wechsel zur Buche unter Gesichtspunkten der Wassernachlieferung positiv.

Die Versickerung sinkt, obwohl eine leichte Verschiebung der Niederschläge in die Wintermonate stattfindet. Die Temperaturerhöhung bedingt eine höhere Evaporation und Transpiration der Waldbäume, so dass diese mehr Wasser verbrauchen als derzeit. Auf den 1er Standorten kann Wasser durch vorhandene Lehm- oder Tonbänder aufgehalten und damit länger pflanzenverfügbar vorgehalten werden, so dass mit einer mehr oder weniger stark ausgebildeten „Sperrwirkung“ auf diesen Standorten die Versickerung zu Gunsten des Pflanzenwachstums verringert wird. Da nicht alle die Versickerung beeinflussenden Faktoren (z. B. die Bodenvegetation) im Modell berücksichtigt werden können, sind bei dieser Auswertung die absoluten Werte mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet. Vergleiche sollten deshalb nur innerhalb einer Gruppe durchgeführt werden.



**Abbildung 6.9** Niederschlag(Nds.) an den Klimastationen und Versickerung in absoluten Werten. Versickerungswerte sind NUR für die betrachteten Bestände gültig und dürfen AUF KEINEN FALL für die Gesamtregion angenommen werden! Quelle: Eigene Darstellung.

### 6.3.3 Zusammenfassung der Modellergebnisse

Der absehbare Klimawandel kann bisher nur hinsichtlich der Temperaturentwicklung genau abgeschätzt werden. Bezüglich der Niederschläge besteht derzeit noch eine relativ hohe Unsicherheit. Insgesamt zeigen die Modellergebnisse, dass bei gleichbleibenden Niederschlägen (mittlere und feuchte Realisation) das Wachstum der Bäume eher zunehmen wird (außer bei der Birke), während bei zurückgehenden Niederschlägen (trockene Realisation) bis auf die Buche alle Baumarten einen Rückgang in ihrer Wuchskraft zeigen. Da die Buche jedoch heute überwiegend auf den besseren Standorten der Berliner Wälder stockt, ist dieses Ergebnis nicht unerwartet.

Bei Modellierungen, die eine Verschlechterung der Wasserversorgung annahmen, wie sie z. B. durch die Absenkung des Grundwasserspiegels entstehen können, reagierten die betroffenen Bestände mit schlechterem Zuwachs. Auf armen Standorten erfolgte die Reduktion wesentlich deutlicher als auf den relativ gut nährstoffversorgten.

Hinsichtlich der für viele Funktionen des Waldes wichtigen Grundwasserneubildung zeigen die Modellrechnungen, dass unter allen betrachteten zukünftig möglichen Bedingungen die Versickerung auf allen Standorten und unter allen Baumarten deutlich niedriger ist als derzeit.

## 6.4 Mögliche Anpassungsstrategien

Generell ist es gerade in einem dynamischen Umfeld wie der Waldbewirtschaftung – zudem noch mit den sozio-ökonomischen und administrativen Rahmenbedingungen – schwierig, eine Bewirtschaftungsmaßnahme als alleinig durch Anpassung an Klimawandel erforderlich zu erkennen. Vereinfacht könnte man durchaus auf die Notwendigkeit der Wirtschaft in einem unsicheren, sich ständig ändernden biologisch-sozialen Wirkraum verweisen und die Anpassung als „business as usual“ begreifen.

Hinzu kommt, dass Rahmenbedingungen ausserhalb des Einzelbetriebes (z. B. Holzmarkt) eine bestimmte Wirtschaftsführung nahezu diktieren können.

Generell gibt es zwei Maßnahmenbereiche, die getrennt betrachtet werden sollten: Aktivitäten und Maßnahmen, die auf den Bereich der biologischen Produktion und ökologischen Wirtschaftsführung zielen, also Bäume beziehungsweise Bestände betreffen, und Aktivitäten, die den sozio-ökonomischen und politischen Rahmen der Bewirtschaftung beeinflussen.

### 6.4.1 Einzelbaum- bzw. Bestandesebene

Auf dieser Ebene sind alle Maßnahmen zu betrachten, die die Anpassungsfähigkeit der Population sowie die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen betreffen. Mit Bezug auf die klimatischen Gegebenheiten im Bereich der Berliner Forsten liegt der Schwerpunkt sicherlich mehr auf der Wasser- denn der Nährstoffverfügbarkeit.

Baumarten selber können auf Klimawandel durch Änderung ihrer Phänologie, sonstige evolutionäre Anpassungen oder Verlagerung des Verbreitungsgebietes reagieren (Noss, 2001).

Die genetische Ausstattung eines Bestandes entscheidet mit darüber, ob an diesem Standort mit Naturverjüngung weitergearbeitet werden kann oder nicht. Hierbei ist es aus genetischer Sicht wünschenswert (oder sogar erforderlich), wenn möglichst viele Bäume fruktifizieren. Da es Hinweise auf Unterschiede in der Anpassungsfähigkeit der Nachkommenschaft eines Bestandes aus unterschiedlichen Jahren gibt (WOLF, pers. Mitt.) – und metagenetische Einflüsse auf die genetische Variation in den Nachkommenschaften ebenfalls nicht unerhebliche Auswirkungen haben können – ist es zudem wünschenswert, wenn die Verjüngungszeiträume möglichst gestreckt werden.

Bei bereits bestehenden Beständen können Anpassungsmaßnahmen durch Änderungen in der Bewirtschaftung (Durchforstungsart und –stärke), Bewässerung, Düngung (Kalkung), Erntetechnik und Störungsmanagement durchgeführt werden.

Düngung kann darauf zielen, durch geänderte Nährstoffdynamik entstehende Ungleichgewichte zu verringern. Die hierfür nötigen detaillierten Analysen und Düngemittelapplikationen sind jedoch in der Regel nicht mit dem Budget eines Forstbetriebes zu bezahlen. Die Steuerung der Nährstoffdynamik wird eher durch die Steuerung der Licht- und Feuchteverhältnisse am Waldboden erfolgen, also mit der Durchforstungs- und Ernteeingriffsstärke und –lenkung.

Bewässerung ist im Wald schon alleine aufgrund fehlender Infrastruktur keine durchführbare oder bezahlbare Option. Nur indirekte Einflussnahmen über die Steuerung des Landschaftswasserhaushaltes und der Grundwasserspiegel sind möglich.

Sollten sich die Konkurrenzbeziehungen zwischen Baumarten oder zwischen soziologischen Klassen einer Baumart ändern, so ist bei der Bewirtschaftung laufend zu prüfen, ob die angewendeten Durchforstungsstrategien (noch) zielführend sind oder aber angepasst werden müssen. Da derzeit weder über die möglichen Konkurrenzänderungen hinreichende Informationen vorliegen, noch die Konkurrenzbedingungen anders als in situ während des Aus-

zeichnens beurteilt werden können, ist hier die Anwesenheit kompetenten Fachpersonals im Wald nicht ersetzbar. Als Mindestanforderung sollten Durchforstungseingriffe so durchgeführt werden, dass die Bestände nicht zu sehr destabilisiert und für biotische oder abiotische Schäden prädisponiert werden (siehe AYRES und LOMBARDEO, 2000, MICKOVSKI et al., 2005 entwickelten ein DSS hierfür, SPIECKER, 2003 für generelle Aussagen).

Im Gegenzug können auf ausreichend wasserversorgten Standorten durch steigende Temperaturen die Produktionszeiträume verkürzt werden. Dies bedeutet nicht unbedingt eine signifikant frühere Ernte, sondern eher, dass bei diesbezüglich empfindlichen Baumarten wie z. B. Eiche beim Produktionsziel Wertholz in der Qualifizierungsphase früher und/oder häufiger eingegriffen werden muss (NUUTINEN et al., 2006).

Im Gegensatz dazu stehen Ergebnisse von LISKI et al. (2001), wonach längere Umtriebszeiten und eine Orientierung an der maximalen C-Speicherung im Wald als Klimaschutzbeitrag des Waldes wünschenswert wären. Diese Studie berücksichtigt jedoch keine Substitutionseffekte, was für eine „klimaoptimale“ Behandlungsweise jedoch unbedingt erforderlich ist (Rock, 2008).

### Mitigation

Mitigation, d.h. eine Ausrichtung der Waldbewirtschaftung mit Richtung auf einen möglichst hohen Netto-Beitrag des Waldes zum Klimaschutz, erfordert die Bilanzierung der Treibhausgasspeicherung und –emission, die mit jeder Tätigkeit in der Bewirtschaftung assoziiert sind, inklusive der indirekten Effekte wie z. B. Substitutionseffekte durch Holzverwendung (Rock, 2008). Für die Bestimmung der „klimaoptimalen“ Vorgehensweise liegen derzeit noch keine ausreichend detaillierten Treibhausgas-Bilanzen auf Bestandes-, Betriebs- bzw. Maßnahmenebene vor. Einen Anhalt an die Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsweisen und Änderungen derselben auf den Kohlenstoffhaushalt kann man JANDL et al. (2007) und Rock (2008) entnehmen.

### Mischbestände

Aus Gründen der Risikostreuung empfehlen sich Baumartenmischungen (JACOBSEN und THORSEN, 2003). Diese sind jedoch keine Garantie für geringere Schäden durch z. B. Insekten, da sie zwar weniger attraktiv für spezialisierte Schädlinge sind, jedoch keine geringere Anfälligkeit gegenüber Generalisten haben. Insbesondere bei der Bestandesbegründung sind Mischbestände anfälliger gegen Säugetierschäden (KORICHEVA et al., 2006), was die Vorteile hinsichtlich der Insektenschäden wieder aufwiegen kann.

Während Verjüngungsphasen, sei es durch Kunst- oder Naturverjüngung, kann durch Baumarten-, Herkunfts- und Sortimentswahl, Pflanzverfahren und Bodenvorbereitung auf Klimawandel reagiert werden. Problematisch kann hierbei werden, dass z. B. der Kronenschlußgrad eines Altbestandes bzw. Überhalts für die Vermeidung von Trockenstress am Waldboden möglichst hoch gehalten werden sollte (RENNENBERG et al., 2006), was jedoch die Verjüngung lichtliebender Arten erschwert. Generell gilt: Je gemischerter die Verjüngung (lange Verjüngungszeiträume, verschiedene Arten und Herkünfte), desto größer kann die Anpassungsfähigkeit des Bestandes sein. Diese Strategie kann jedoch im Widerspruch zu derzeitigen, an „natürlichen“ Waldbildern orientierten Zielvorgaben stehen.

### 6.4.2 Landschaftsebene

Auf Landschaftsebene sind Änderungen der politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen oder in der Organisationsform bedeutsam. Bei derzeit vorhandenen Untersuchungen stehen meistens die Verschiebungen von Verbreitungsgebieten sowohl von Baumarten als auch Schadorganismen durch Klimawandel im Vordergrund. Diese Untersuchungen erfolgen derzeit überwiegend noch auf der Basis einfacher Korrelationen mit derzeitigem Klima und derzeitigen oder potenziell natürlichen Verbreitungsgebieten, z. B. mittels Klimahüllen oder Arten-Areal-Kurven. IBANEZ et al. (2006) weisen darauf hin, dass diese Herangehensweise einige Nachteile aufweist, weil z. B. die Phänologie der Arten (und deren Empfindlichkeit gegenüber Witterungsextremen) vernachlässigt wird, Verbreitungshindernisse oder Vektoren nicht berücksichtigt sind und auch das Reproduktionsverhalten oft nicht bedacht wird. In den verwendeten Modellen wird zudem häufig unterstellt, dass das Vorkommen einer Baumart vollständig und alleine vom Klima (und dann noch in der im Modell berücksichtigten zeitlichen Auflösung) abhängt, was Schadorganismen, Verbreitungsgrenzen, Konkurrenz mit anderen Baumarten oder historische anthropogene Einflüsse missachtet (LOEHLE und LEBLANC, 1996). Zudem ist derzeit noch unbekannt, ob und unter welchen Umständen Baumarten schneller wandern können als mit ihnen assoziierte Schadorganismen (Moorcroft et al., 2006).

Auf Landschaftsebene zeigt sich auch das Problem der derzeitigen Schutzgebietskonzeptionen: die Gebiete unterliegen den Klimawandeleinflüssen und verändern sich in Struktur und Dynamik, was zum lokalen Verschwinden von bei der Ausweisung als schützenswert erkannten Ökosystemtypen oder Arten führen kann. Es gibt derzeit noch keine belastbaren Aussagen dazu, welche derzeit existierenden Schutzgebiete in welchem Umfang auch künftig noch ihre Schutzfunktionen ausüben können.

Noss (2001) fordert deshalb, (1) bei der Waldbewirtschaftung repräsentative Waldökosystemtypen über die verschiedenen ökologischen Gradienten und Gebietsgrößen hinweg in Schutzgebieten zu schützen, (2) Naturwälder zu erhalten, (3) Zerschneidungen zu vermeiden und Wanderungskorridore zu erhalten bzw. neu zu eröffnen, insbesondere parallel zu Klimagradienten; (4) Pufferzonen um Schutzgebiete einzurichten, in die die Gebiete hinein verlagert werden können; (5) extensive Forstwirtschaft anzuwenden; (6) möglichst große Genpools zu erhalten.

Die ökonomischen Funktionen des Waldes werden derzeit überwiegend durch Erlöse für Holz realisiert. Sie hängen deshalb von Zuwachsdynamik, Durchforstungs- und Ernteplanung und Störungen einerseits und den verschiedenen Produktmärkten andererseits ab. Derzeit ist mit einem weiteren Anstieg der Zuwachsleistungen in den temperaten Regionen zu rechnen, was jedoch trotz Angebotsausweitung vor dem Hintergrund der derzeitigen Holzpreise nicht zu einem Fall derselben führen dürfte. Im Gegenteil, bei den derzeitigen Rohstoffpreisentwicklungen insgesamt ist von einem weiteren Anstieg der Holzerlöse auszugehen. Genaue Prognosen sind derzeit jedoch nicht möglich.

Angesichts des sich abzeichnenden anthropogenen Klimawandels ist auch damit zu rechnen, dass insbesondere die Funktionen des Waldes im Bezug auf den Landschaftswasserhaushalt einem Bewertungswandel unterliegen. Inwieweit hiermit ökonomische Substitutionseffekte für die Waldbesitzer verbunden sein werden, ist derzeit nicht absehbar.

Viele Untersuchungen zu Optionen zur Verringerung der Klimawandeleffekte betrachten eine Maximierung der Kohlenstoffspeicherung im Wald, teilweise unter Einbeziehung verschiedener exogener Kohlenstoffpreise (e. g. SOHNGEN und SEDJO, 2006); aber eine komplette

Evaluation von Bewirtschaftungsalternativen inklusive der Auswirkungen auf den gesamten Kohlenstoffhaushalt fehlen derzeit noch (ROCK, 2007).

Es gibt zwei Möglichkeiten von Insektenkalamitäten: Gradation einer für das Ökosystem typischen Art oder aber durch Einwanderung gebiets- und ökosystemfremder – invasiver – Arten (z.B. *Anoplophora glabripennis*, MACLEOD et al., 2002). Einige invasive Arten können in Bewirtschaftungssysteme eingebunden werden (z.B. Robinie), andere sollten an der Etablierung und Ausbreitung gehindert werden. Dies erfordert eine intensive Beobachtung des Güter- und Warenverkehrs, inklusive Auf- und Ausbau eines Informationsnetzes zu möglichen Arten, ihrer Erkennbarkeit, Ökologie, Schadpotenziale und Bekämpfungsmaßnahmen (CHORNESKY et al., 2005).

Aus dem Kyoto-Prozess sind zwei Aspekte zu Wald und Waldwirtschaft deutlich geworden: Es ist möglich, Wald und dessen Bewirtschaftung zum Klimaschutz zu nutzen, ein möglicher Beitrag von Kohlenstoffspeicherung im Wald ist derzeit jedoch nur unzureichend messbar. Bis heute verhindert die hohe Variabilität von Waldökosystemen, Bäumen und Bewirtschaftungsweisen (inklusive der verwendeten Technikausstattung der Betriebe) einerseits, sowie die fehlende Inventur- und Berichtsmethodik andererseits die komplette Inventur von Treibhausgasemissionen und –bindung in Waldökosystemen (BROWN et al., 2002, ROCK, 2007). Vergleichsweise viele Studien beschäftigen sich mit groben Änderungen auf Landschaftsebene (z. B. PUSSINEN et al., 1997, SCHMID et al., 2006). JANDL et al. (2007) haben den neuesten – und umfassendsten – Review zu Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen auf Bestandesebene publiziert.

### **6.4.3 Derzeit empfehlenswerte konkrete Handlungsoptionen**

#### Wachstum und Behandlung der Waldbäume

Vom Klimawandel werden nach derzeitigem Wissenstand vor allem die folgenden Bereiche beeinflusst werden: Zuwachsvermögen der Waldbäume, Grundwasserneubildung und Nutzung des Waldes als Erholungsraum. Die räumlichen Autokorrelationen zwischen Standortseigenschaften und dem Vorkommen der einzelnen Baumarten schwerpunktmäßig auf bestimmten Standorten machen generelle Aussagen schwierig. Hinzu kommt, dass die derzeitige Waldbaurichtlinie der Berliner Forsten auf der Basis einer Zertifizierung eine bestimmte Wirtschaftsweise vorschreibt, die das Resultat eines Abwägungsprozesses verschiedener Ziele darstellt. In diesem Bericht wird jedoch nur auf die Wechselwirkungen zwischen Klimaänderungen und Waldbewirtschaftung eingegangen. Eine neue Bewertung und Abstimmung der Ziele kann notwendig sein, sollte jedoch von den beteiligten Akteursgruppen vorgenommen werden.

Festzuhalten ist, dass keine der Baumarten unter den getroffenen Annahmen völlig ausfallen könnte. Die Buche reagiert als einzige Baumart auf den derzeit von ihr besiedelten guten Standorten tendenziell immer positiv auf den Klimawandel, während die anderen betrachteten Baumarten unter zunehmend trockenen Bedingungen leiden werden. Sollten die Niederschläge tendenziell gleich bleiben, so kann mit einer Steigerung des Zuwachses in den Berliner Wäldern gerechnet werden. Die Konkurrenzkraft der Buche wird jedoch zunehmen und die waldbauliche Steuerung von Mischbeständen aus Buche und anderen Baumarten aufwändiger werden als es derzeit der Fall ist. Die Buche stockt derzeit jedoch überwiegend auf den besseren Standorten, so dass nicht davon ausgegangen werden darf, dass sie sich auf den ärmeren Standorten analog verhält. Eine Empfehlung, sie auch dort in größerem Maße anzubauen, kann deshalb nicht gegeben werden.

Hinsichtlich der Anpassung der Bestände an sich änderndes Klima sind eine schonende Bestandesbehandlung bei allen Eingriffen sowie, bei der Verjüngung der Bestände, der Verzicht auf kurze Verjüngungszeiträume, die Verwendung mehrerer Baumarten bzw. unterschiedlicher Herkünfte einer Baumart bei Pflanzungen, sowie die Einbringung von nachgewiesenermaßen an trockenere Bedingungen angepasste Arten bzw. Herkünfte zu empfehlen. Auf sehr guten Standorten ist jedoch eine Beimischung zur Buche bei den derzeit sich abzeichnenden Bedingungen nur schwer möglich, da die Konkurrenzkraft der meisten anderen Baumarten deutlich hinter der Wuchskraft der Buche zurückbleibt. Auch Ahorn- und Eschenverjüngungen auf ihnen traditionell nicht zugerechneten, tendenziell eher ärmeren und trockeneren Standorten können eine positive Rolle spielen. Es liegen hierzu jedoch noch nicht genügend Erfahrungen vor, um dieses Vorgehen uneingeschränkt empfehlen zu können.

Bei Pflanzungen ist darauf zu achten, dass zum einen sehr tiefe Wintertemperaturen nach wie vor auftreten können (was die Verwendung mediterraner Arten oder Herkünfte riskant macht) und dass die Wahrscheinlichkeit trockener Frühjahrsmonate steigt. Pflanzungen im Frühjahr sollten deshalb möglichst vermieden werden. Die international manchmal diskutierten Optionen Düngung und Standortmelioration sind im Bereich der Berliner Forsten derzeit nicht zu empfehlen. Auf absehbare Zeit werden die Nährstoffeinträge aus Landwirtschaft, Verkehr und Industrie nicht auf ein Niveau sinken, dass eine Düngung – von unerwünschten ökologischen Folgen abgesehen – wirtschaftlich kostendeckend durchführbar wäre.

Der Wald hat jedoch im Bezug auf den Klimawandel nicht nur eine passive Rolle. Durch die Nutzung des Rohstoffes Holz, insbesondere auch als Ersatz für energieintensiv hergestellte Produkte (Kunststoffe, Aluminium) oder fossile Brennstoffe, kann effektiv zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen beigetragen werden. Diese Funktion sollte weiter ausgebaut werden. Eine Stilllegung von Teilflächen oder eine Reduktion des Einschlags sind unter Klimaschutz Gesichtspunkten kontraproduktiv!

### Wald und Wasser

Die Grundwasserneubildung geht unter allen Szenarien zurück. Lässt man die derzeit grundwasserbeeinflussten Standorte aus der Analyse heraus, so ist im ungünstigsten Fall ein Rückgang der Versickerung auf ein Viertel, im günstigsten auf etwa drei Viertel des derzeitigen Niveaus zu erwarten. Die Baumartenverteilung spielt dabei eine geringe Rolle, da Wechselwirkungen mit Bodenvegetation, Terminierung von Regenereignissen und Bestandesstruktur ebenfalls wichtig sind. Die in der Literatur aufgezeigte Überlegenheit der Buche lässt sich aus den Modellrechnungen nur für die ärmsten Standorte bestätigen.

Die Analyse der derzeit gut wasserversorgten M1- und Z1-Standorte zeigt, dass bei einer Absenkung des Grundwasserspiegels auf diesen Flächen mit drastischen Zuwachsrückgängen der Waldbestände gerechnet werden muss. Durch diese Schwächung der Bäume können sich Extremereignisse und Pathogene, die normalerweise keine Gefahr darstellen, ausbreiten und die Bestände zumindest kleinflächig bedrohen. Neben den wirtschaftlichen Schäden sind beim Absterben von Einzelbäumen negative Folgen für die Qualität des Grundwassers (Streuzersetzung, Nitratauswaschung) und die Betretbarkeit des Waldes (Totholz im Kronenbereich) zu erwarten. Im Interesse des Waldschutzes und Walderhalts sollte auf plötzliche Absenkungen deshalb verzichtet werden. Besonders ungünstig sind aus Klimaschutzsicht Grundwasserabsenkungen im Bereich von Waldmooren und anderen organischen Nassböden, da bei deren Trockenfallen sehr große Mengen an CO<sub>2</sub> freigesetzt werden (LAINE et al. 1996).

### Waldgesundheit

Die in den Berliner Forsten hauptsächlich vorkommenden Baumarten sind bisher relativ unempfindlich gegen großflächig auftretende Insekten, Pilze oder Pathogene, so dass auch bei geändertem Klima extreme Störungen wie z. B. die Borkenkäfermassenvermehrungen im Nationalpark Bayerischer Wald in den 1990er Jahren unwahrscheinlich sind. Da durch den absehbaren Klimawandel bedingt jedoch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten extremer Witterungsabschnitte steigt (SCHÖNWIESE 2007), ist auch mit einer zunehmenden Disposition der Waldbäume für einen Befall zu rechnen.

### Wald als Erholungsraum

Weitere Aspekte, die speziell die Erholungsnutzung des Waldes betreffen, sind eine zunehmende Gefährdung durch Sommerstürme, abgestorbenes Kronenmaterial und die Ausbreitung allergener Neophyten und Neozoen. Bisher ist eine Steigerung der Häufigkeit von Extremwindereignissen für das Norddeutsche Tiefland nicht sicher nachgewiesen, jedoch wahrscheinlich. Die Berliner Forsten werden sich auf eine steigende Häufigkeit von Sommerstürmen mit den entsprechenden Schäden im Wald und auf Nachbargrundstücken einstellen und Strategien zu deren Minderung entwickeln müssen. Waldbetretungsverbote sind eine Möglichkeit, die jedoch durch entsprechende Aufklärungsarbeiten in der Bevölkerung begleitet werden sollten. Bei bau- und planungsrechtlichen Verfahren ist bei der Errichtung neuer Bausubstanz die Einhaltung entsprechender Abstände zu Waldrändern zu beachten.

Die Waldbäume werden zwar insgesamt – außer unter den Bedingungen des „trockenen“ Szenarios – besser wachsen, jedoch sind steigender Stress und das Absterben von Einzelbäumen häufiger zu erwarten. Die Verkehrssicherungspflicht wird hierdurch noch anspruchsvoller als derzeit, da auch auf derzeit noch „ungefährdeten“ Standorten eine Verschlechterung der Situation zu erwarten ist.

Die Klimaentwicklung wird auf alle Fälle die Bedingungen für das Ausbreiten z. B. der Beifuß-Ambrosie und des Eichen-Prozessionsspinner verbessern. Für ein entsprechendes Monitoring- und Bekämpfungssystem sind Personal- und Materialmittel im Haushalt zu berücksichtigen.

Insgesamt sind für die Berliner Forsten keine katastrophalen Änderungen zu erwarten. Die Betreuung des Waldes wird intensiver erfolgen müssen, um bei negativen Veränderungen eingreifen und steuern zu können, bevor große Areale betroffen sind (Neophyten, Neozoen, Verkehrssicherungspflicht).

## 7 Naturschutz und Landschaftsplanung

### 7.1 Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Landschaft

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Naturhaushalt sind vielschichtig, werden in der Literatur jedoch vor allem aus Sicht der Biodiversität diskutiert (u. a. CRAMER und VOHLAND, 2008; DOYLE und RISTOW, 2006; KLOTZ, 2008; KORN et al., 2006; KRÜGER, 2008; LUBW, 2007; LEUSCHNER und SCHIPKA; 2004; MENZEL et al., 2006; UBA, 2008; VOHLAND und LOTZE-CAMPEN, 2008; ZEBISCH et al., 2005). Für die konkrete Problematik greift diese fokussierende Sichtweise zu kurz. Vielmehr gilt es, Naturhaushalt und damit -schutz aus einer integrierenden Perspektive zu betrachten. Diese muss neben Auswirkungen auf Flora und Fauna auch Effekte hinsichtlich der Böden und Gewässer berücksichtigen (siehe auch SRU, 2008) und zudem die Landschaft und damit das Lebensumfeld des Menschen insgesamt mit in die Betrachtung einschließen. Dies soll im Folgenden geschehen, jedoch sei darauf verwiesen, dass wesentlichen Komponenten des Naturhaushalts, nämlich Wasser und Wald, im Rahmen dieses Gutachtens bereits besondere Beachtung zuteil wurde. Bereits vorgebrachte naturschutzrelevante Betrachtungen werden an dieser Stelle nicht mehr in aller Ausführlichkeit wiederholt, vielmehr in den Gesamtkontext eingebettet.

Darüber hinaus gilt es einleitend festzustellen, dass die wissenschaftliche Basis zu dieser speziellen Thematik zu Auswirkungen von Klimaänderungen im Vergleich zu den anderen in diesem Gutachten thematisierten Aspekten, wie etwa Implikationen für die Land- und Forstwirtschaft oder den Wassersektor, bei weitem noch nicht breit genug ist. Dies bestätigen u. a. ERHARD (2006), KORN (2006), LEUSCHNER und SCHIPKA (2004) sowie erst kürzlich ESSL (2008), KRÜGER (2008) und SZYMANSKI (2008). Grundlegende Argumente und Abwägungen im Rahmen eher theoretischer Konzepte überwiegen in der wissenschaftlichen Diskussion gegenüber profunden Erkenntnissen und abgesicherten Schätzungen. Selbst die Nutzung von Modellprojektionen ist noch mit größeren Unsicherheiten behaftet. Mit diesem Dilemma muss bei der Analyse und anstehenden Entscheidungen, etwa im Kontext der Landschaftsplanung, umgegangen werden; und vor diesem Hintergrund sind die folgenden Ausführungen nur bedingt allein und ausschließlich auf einen kleinen (Natur-)Raum wie Berlin und sein Umland mit den im Rahmen dieses Gutachtens betrachteten Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH und Berliner Forsten zu beziehen.

Trotz aller Unsicherheiten haben zahlreiche Autoren Effekte des Klimawandels auf den Naturschutz diskutiert. Demnach kommt man im Allgemeinen zu der Schlussfolgerung, dass Klimawandel zwar ein bedeutender, jedoch nicht der alleinige Faktor für künftige Veränderungen im Hinblick auf den Naturschutz ist: Die relative Bedeutung des Klimawandels im Vergleich zu anderen anthropogenen Faktoren – wie etwa Änderungen in der Landnutzung (VON HAAREN, 2008) – lässt sich von daher nur schwer fassen. Gleichwohl sieht SRU (2008) den Klimawandel als erste unter weiteren treibenden Kräften, die den Naturschutz in Deutschland mittel- und langfristig beeinflussen werden (siehe auch KLOTZ, 2008). Für Ostdeutschland und damit für die Zielregion dieser Studie trifft das angesichts besonders ausgeprägter Klimawandelindikatoren im Speziellen und wahrscheinlich mit besonderer Intensität zu (POMPE et al., 2008). Die erwarteten Änderungen bei Temperatur, Niederschlag, wetterbedingten Extremereignissen etc. lassen davon ausgehen, dass – im Kontext von Klimazonen – die Winter in der Region eher atlantischer werden und die Sommer – im Gegensatz

dazu – noch kontinentaler. Dieser neuartige Klimamix dürfte die Ausprägung einzelner Naturschutzgüter vor besondere Herausforderungen stellen.

Vor diesem Hintergrund und aus der Sicht auf den Naturhaushalt in der Kulturlandschaft in und um Berlin lassen sich in Auswertung von ESSL (2008), CRAMER und VOHLAND (2008), HOLSTEN (2007), KORN et al. (2006), LEUSCHNER und SCHIPKA (2004), PIK (2007), POMPE et al. (2008), SRU (2008), UBA (2008), VON HAAREN (2008), VOHLAND et al. (2007), ZEBISCH et al. (2005) etc. eine ganze Reihe potenzieller Auswirkungen hervorheben. Die Diskussion dieser Implikationen soll im Folgenden aufgesplittert werden: Im Vordergrund stehen angesichts der Literaturlage zunächst Aspekte der Biodiversität bzw. des Artenschutzes. Anderen Schutzgütern wird in der Diskussion separater Raum eingeräumt.

### Spezifische Auswirkungen auf die Biodiversität

Grundsätzlich können in Bezug auf den Natur- respektive Artenschutz Effekte unterschieden werden, die dem langfristigen Trend des Klimawandels geschuldet sind, und Auswirkungen, die ihre Ursache in der höheren Frequenz und Amplitude von Starkwetterereignissen haben. Ein Faktor, dem eine zentrale Bedeutung für die Region zukommt, dürfte dabei die sich aus den klimatischen Änderungen ergebende Wasserverfügbarkeit sein (IBISCH, 2008; VON HAAREN, 2008).

Für Deutschland ganz allgemein gilt, dass bedingt durch tendenziell höhere Temperaturen und Änderungen der saisonalen Wasserverfügbarkeit Spezies wandern, und zwar von Süd nach Nord und von West nach Ost. Darüber hinaus verschieben sich Arten in günstigere Feuchtigkeitslagen (siehe KORN und EPPLE, 2006) sowie – jedoch für Berlin und sein Umland weniger bedeutend – in die Höhe. Wärmeliebende, submediterrane und mediterrane Arten wandern ebenso ein wie atlantische. Selbst subtropische und tropische Spezies gelingt die Invasion (oft durch Importe). Demgegenüber werden wohl zunehmend kontinentale Arten und bislang heimische Kälteanzeiger verdrängt. Die Wanderungsgeschwindigkeit der Arten wird, über alle Tier- und Pflanzenarten gemittelt, zurzeit mit ca. 6 km pro Dekade angegeben (BfN, 2004), was die potenzielle Wandergeschwindigkeit vieler Arten übertrifft.

Vor diesem Hintergrund wird erwartet, dass ein bedeutender Teil der in der Region beheimateten Flora und Fauna starke Veränderungen erfahren wird. Modellrechnungen projizieren einen Rückgang der einheimischen Arten – weil Arten nicht mit der Geschwindigkeit von Klimaveränderungen mithalten und lokal aussterben können – von 30-50 % (KORN und EPPLE, 2006). Der bereits beobachtete Verlust an Biodiversität wird demnach voranschreiten; etwa ein Viertel aller Farn- und Blütenpflanzen, mehr als ein Drittel aller Tierarten und fast drei Viertel aller Lebensräume werden in Deutschland als gefährdet eingestuft (u. a. BMU, 2007; BfN, 2007). Festzustellen ist in diesem Zusammenhang jedoch auch, dass gleichzeitig neue Arten einwandern werden; mithin ist von apokalyptischen Szenarien in Bezug auf die Gesamtbiodiversität nicht auszugehen (FROBEL, 2008). Gleichwohl wird für Ostdeutschland und damit auch den Berliner Raum mit einem besonders starken Nettoverlust an Biodiversität gerechnet (CRAMER, 2006; POMPE et al., 2008; SCHRÖTER et al., 2004). Dieser Verlust dürfte sowohl im Hinblick auf die Quantität als auch auf die Qualität manifest werden:

- Für Berlin und sein Umland ist das Risiko des lokalen Aussterbens besonders groß für Arten, die an relative Kälte und Feuchtigkeit angepasst sind. Feuchtgebiete (beispielsweise Fließgewässer und Moore sowie weitere grundwasserabhängige Landökosysteme) und Waldökosysteme gehören dazu. Gleichfalls werden Arten sukzessive verschwinden bzw. im Bestand dezimiert, die eine geringe Migrationsfähigkeit besitzen, die also hinsichtlich ihrer Mobilität und in der Ausbreitung beschränkt sind und/oder in kleinen, stark abgegrenzten Arealen leben und Barrieren nicht überwinden können.
- Eine besonders starke Gefährdung der Biodiversität wird zudem für das Offenland erwartet, nämlich dann, wenn die weiter oben gezeigten klimatischen, globalen und politischen Rahmenbedingungen zu einer weiteren Intensivierung der Landwirtschaft führen. In diesem Fall wäre mit zunehmenden Einschränkungen der Lebensbedingungen für eine Vielzahl von Arten zu rechnen. Nicht nur deswegen ist eine allzu partielle Betrachtung von Naturschutzaspekten nicht hilfreich, vielmehr müssen Interaktionen des Naturhaushalts mit anderen Bereichen und Wirtschaftssektoren in das Kalkül mit aufgenommen werden. In diesem Zusammenhang sei auf die Ausführungen zu den Implikationen einer verstärkten Nutzung von Agrarflächen für die Bioenergieproduktion im Rahmen dieses Gutachtens verwiesen.
- Es mehren sich jedoch auch Erwartungen, die für die im Berliner Raum typischen Trockenrasenstandorte hinsichtlich der Artenvielfalt von keinen größeren, allein auf Klimaeinflüsse zurückzuführenden Effekten ausgehen. Rasengesellschaften werden explizit nicht als klimagefährdeter Biotop angesehen (FROBEL, 2008). Hier könne die Artenvielfalt durch vergleichsweise wenige Hürden bei der Einwanderung und Einnistung von Neobiota sogar steigen (ESSL, 2008).
- Allerdings wären es weniger schutzbedürftige Arten, denen eine solche Einwanderung gelingen könnte und die einige zuvor einheimische Arten verdrängen würden. Mithin ergibt sich ein Qualitätseffekt: Das Artenspektrum wird sich verschieben, auch ist mit einer zunehmenden Tendenz der Verbuschung zu rechnen (CRAMER und VOHLAND, 2008). Zudem sind leichte funktionale Verschiebungen, weil etwa tendenziell mehr Biomasse unterirdisch und nicht überirdisch zur Verfügung stehen wird, wahrscheinlich (CRAMER und VOHLAND, 2008). Dies dürfte, um ein Beispiel zu nennen, zu einem Verlust von Insektenarten über dem Boden und zu einer Mehrung von Insektenarten in Wurzelnähe von Pflanzen führen, weil sich die Nahrungsangebote entsprechend verschieben.

Abnahme und regionalem Aussterben von Spezies stehen also Zunahme und Einwanderung von Arten gegenüber. In der Tat kann der durch klimatische Prozesse induzierte Zuwanderungsprozess auch positive Effekte mit sich bringen: Arten – sofern sie sich nicht in Nutzungskonkurrenz zu einheimischen Arten befinden – können in der Region heimisch werden und die Artenvielfalt mehren. Dazu dürften auch schutzbedürftige Arten, z. B. solche der Roten Liste, gehören, die in anderen Regionen keine entsprechenden Lebensbedingungen mehr vorfinden.

Neue und bisher unbekannte Lebensgemeinschaften können entstehen (ERHARD, 2006), insbesondere gilt das für Pflanzengesellschaften (BERGER und WALTHER, 2006). Gleichwohl ist zu bedenken, dass Habitatgeneralisten sich weiter verbreiten werden, die aufgrund ihrer Konkurrenzstärke den Artenreichtum standortspezifisch einschränken können (OTT et al., 2007). In der Tat wird vor dem Hintergrund der Neukonstituierung der Artenzusammensetzung vor allem auch der Effekt invasiver, d. h. zuziehender Arten diskutiert. Neue, in der Region nicht

typische Arten werden einwandern, und dieser Invasionsprozess wird sich durch den Klimawandel beschleunigen. Problematisch sind dann vor allem Schädlinge, wenn sie Kulturpflanzen und Nutztiere, aber auch heimische Wildpflanzen und Wildtiere bedrängen bzw. in ihrer Existenz einschränken oder gar gänzlich bedrohen. Dies gilt auch für den Menschen, wie das Beispiel der Allergien verursachenden Beifuß-Ambrosie zeigt bzw. das zunehmende Vorkommen bestimmter Stechmückenarten sowie von Zecken (siehe auch GEBHARDT, 2006) und – aktuell gerade für Berlin – des Eichenprozessionsspinner.

Ein weiterer, bereits feststellbarer und aus Sicht des Naturschutzes interessanter Aspekt ist, dass es zu Verschiebungen in der jahreszeitlichen Präsenz und Phänologie von Arten kommt (RAMMERT, 2008). Zeiger dieser Entwicklung sind z. B. Vogelarten (PIK, 2007). Es ist schon jetzt zu beobachten, dass einige Vogelarten, etwa Rastvögel wie Enten, durch die Verlagerung von Überwinterungsgebieten länger oder ganz in der Region verweilen (SUDFELDT et al., 2007). Kurzstreckenzieher kommen eher und bleiben länger. Insgesamt steigt die Überlebensrate verschiedener überwinternder Vogelarten an (ERHARD, 2006). Die Konsequenzen für Ökosysteme können gravierend sein, insbesondere wenn sich dadurch die Futtergrundlage für saisonal angepasste Tierarten ändert bzw. Flora in vegetationssensiblen Phasen gestört bzw. vernichtet wird. In der Tat ist ein primär durch Wanderung von Arten infolge des Klimawandels ausgelöster beachtlicher Sekundäreffekt zu beachten: Ernährungsketten können sich verändern, was Naturkreisläufe vor zusätzliche Belastungen stellt. IBISCH (2006a) weist in diesem Zusammenhang auf besondere Risiken, etwa weil es praktisch unberechenbar ist, Veränderungen infolge neuer und nicht mehr vorhandener Interaktionen von Arten vorwegzunehmen.

Auch das ist ein entscheidender Grund, warum man sich hinsichtlich der generellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität zwar relativ sicher ist, die Auswirkungen auf spezifische Arten und Biotope aber noch völlig unsicher umschrieben werden. In der Tat wird auf breiter Front (u. a. FROBEL, 2008; IBISCH, 2008; KRÜGER, 2008; KLOTZ, 2008; RAMMERT, 2008) argumentiert, dass solche spezifischen Aussagen noch unzulässig sind, da die natürlichen Systeme zu komplex seien bzw. die Zusammenhänge zwischen diesen Systemen und Klimaänderung noch immer eine „black box“ darstellen, mithin nicht akkurat genug projiziert, modelliert und prognostiziert und aus wissenschaftlicher Sicht ernsthaft beschrieben werden können. Entsprechend kann dieses Gutachten nicht mit konkreteren Aussagen zu speziellen Arten und Gefährdungen bzw. Änderungswahrscheinlichkeiten aufwarten; hier gilt es, weitere Forschungsergebnisse abzuwarten.

### Auswirkungen auf andere Schutzgüter

Biodiversität bzw. Artenschutz ist nur eines von mehreren Schutzgütern, die im Rahmen von Betrachtungen zu Klimawandeleinflüssen auf den Naturschutz beachtet werden sollten. Andere Schutzgüter der Naturlandschaft sind insbesondere Gewässer und Böden. Hinzu kommt der Faktor Mensch. Dieser ist im Kontext dieser Studie in einem vor allem urban geprägten Umfeld und Kulturlandschaftsbild zu betrachten. Dabei sind klimabedingte Konsequenzen für Erholung, Gesundheit und allgemeines Wohlbefinden, auch subjektiver Art, von besonderem Interesse.

Für Berlin bzw. sein Umland wird, wie bereits diskutiert, erwartet, dass Feuchtgebiete bzw. grundwasserabhängige Landökosysteme (Moore, Sümpfe, Feucht- und Moorheiden, Moor- und Bruchwälder) besonders empfindlich auf Klimaänderungen reagieren werden. Diese Gebiete sind durch die Emission von Stickstoffverbindungen, zusätzliche Eutrophierung und stärkere Nitratbelastung ohnehin betroffen; und diese Betroffenheit wird sich in Zukunft

durch ausgedehnte Perioden von Trockenheit bzw. erhöhte Feuchtigkeitsschwankungen weiter erhöhen. Die zentrale Bedeutung des Themas Wasser wird also wiederholt deutlich. Feuchtgebiete werden nicht zuletzt deshalb zu den am stärksten vom Klimawandel betroffenen Gebieten in der Region gezählt (u. a. CRAMER und VOHLAND, 2008; HEILAND et al., 2008; THUILLER, 2004).

Für die ökologischen Systeme in Gewässern, insbesondere in Niedriggewässern und Flussauen, sind zunehmend trockene Sommer vor allem deshalb problematisch, weil mit dem einhergehenden, öfter zu erwartenden Niedrigwasser der Sauerstoffgehalt in den Gewässern abnimmt, was in nährstoffreichen Gewässern zu massivem Artensterben führen würde (vgl. auch ESSL, 2008). Es kann zudem mitunter sogar zu kompletten Austrocknungen kommen, und die Verlandung von Gewässern würde beschleunigt werden. Mithin können sich Oberflächengewässer als ein die Landschaft prägendes Element u. U. stark verändern (HEILAND et al., 2008).

Für Berlin und sein Umland kann in Bezug auf die Ressource Wasser sogar von einer ausgesprochenen Nutzungskonkurrenz zwischen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Naturhaushalt bzw. -schutz und urbanen Bedürfnissen (Haushalte, Industrie, Gewerbe, etc.) ausgegangen werden. Trockenheiten dürften dann im Kontext des Schutzgutes Wasser dazu führen, dass Feuchtgebiete/Gewässer noch eher/stärker austrocknen und Arten, die einen hohen Grundwasserspiegel brauchen, vergleichsweise früh im Prozess des Klimawandels abwandern bzw. aussterben. Infolge dessen wird sich das Artenspektrum in den betroffenen Arealen besonders schnell wandeln.

Des Weiteren sei auf Böden als Schutzgut verwiesen. Diese werden verstärkt mit Erosion zu kämpfen haben. Für Berlin und das Umland besonders interessant ist, dass künftig längere bzw. intensivere Trockenheitsphasen eine verstärkte Winderosion der Böden bedingen werden (siehe auch LAHMER, 2006), weil abnehmende Bodenbedeckung dies bedingt. Darüber hinaus sind gerade auch Starkniederschläge geeignet, an dafür affinen Standorten lokal Wassererosion auszulösen. Dies wird zu Veränderungen der Bodenstruktur und auch der Bodenfruchtbarkeit führen (Heiland et al., 2008), woraus Bodendegradation und mitunter eine geringere Bodenbedeckung mit Vegetation resultieren.

Schließlich stellt sich die Frage nach den unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Spezies Mensch im urbanen Landschaftsumfeld. Die aufgeworfenen Argumente zur Biodiversität und zu anderen Schutzgütern lassen zum einen die Feststellung zu, dass sich naturräumliche Landschaften in Zukunft in Folge des Klimawandels verändern werden. Gleichwohl werden die Veränderungen nicht zu einem völlig neuen Landschaftsbild in und um Berlin führen, eher ist von Modifikationen auszugehen, was jedoch kleinräumige drastische Änderungen nicht ausschließt. Dies dürfte das Lebensgefühl und Wohlbefinden des Menschen in der Landschaft beeinflussen; ob diese Beeinflussung jedoch als positiv oder negativ wahrgenommen wird, hängt von dem subjektiven Empfinden des Einzelnen ab und entzieht sich somit einer Wertung.

Für Berlin interessanter dürfte hinsichtlich der unmittelbaren Konsequenzen für die Bevölkerung ein zweiter Aspekt sein: Das so genannte Phänomen der „städtischen Wärmeinsel“ wird sich verstärken. Dieses Phänomen beschreibt einen Zustand des Stadtklimas, in dem innerstädtische Zonen sich deutlich stärker erwärmen und auch Wärme länger speichern als Lagen, die diese Kerne umgeben; zudem sind die Temperaturdifferenzen zwischen Tag und Nacht in Stadtkernen nicht so ausgeprägt wie im Umland (vgl. u. a. SCHERER, 2005) und das Stadtklima ist trockener. Die Auswirkungen sind offensichtlich: Es wird zu einer (temporären) Einschränkung in der Lebensqualität und insbesondere zu zusätzlichen gesundheitlichen Belastungen durch klimatisch bedingten Stress (RAMMERT, 2008) kommen, denen es zu begegnen

gilt (GREATER LONDON AUTHORITY, 2006) und die einen besonderen Auftrag an künftige Stadtentwicklung auslösen, der u. a. im folgenden Kapitel spezifiziert wird.

## 7.2 Anpassungsoptionen für Naturschutzkonzepte und Landschaftsplanung

LEUSCHNER und SCHIPKA (2004) argumentierten vor einigen Jahren, dass das vorliegende Wissen für konkrete naturschutzpolitische und landschaftsplanerische Handlungsempfehlungen nicht ausreicht. An dieser Feststellung hat sich zunächst im Grunde nichts geändert (u. a. KRÜGER, 2008; KÜCHLER-KRISCHAU, 2008; VON HAAREN, 2008). Demnach muss von einem besonders hohen Grad an Unsicherheit bei der Diskussion von Anpassungsoptionen ausgegangen werden, was den gesellschaftspolitisch gewollten Naturschutz vor besondere Herausforderungen aus planerischer Sicht stellt. Gleichwohl ist eine Skizzierung von Ansatzpunkten für Anpassungen im politischen und planerischen Handeln möglich und angesichts der skizzierten Tragweite von klimabedingten Änderungen auch notwendig. Insbesondere drei Handlungsebenen kommen im Kontext von Berlin bzw. seiner Naturhaushalte und -landschaften in Betracht:

- Einflussnahme auf übergeordnete politische Entscheidungsebenen,
- Umsetzung eigener naturschutzfachlicher und planerischer Konzepte und
- Stadtplanerische Gestaltungsoptionen für innerstädtische Areale.

Welche konkreten Optionen hierzu relevant sein können, soll im Folgenden kurz skizziert werden. Zur Vertiefung der folgenden Argumente sei schon jetzt im Mindesten auf HEILAND et al. (2008) und JESSEL (2008) verwiesen.

### Einflussnahme auf übergeordnete politische Entscheidungsebenen

Im Hinblick auf die Entwicklung naturschutzpolitischer Leitbilder und grundlegender gebietsübergreifender Vorgaben muss von vornherein betont werden, dass die konkreten Optionen für Regionen wie Berlin eher begrenzt sind. Die entscheidende und legislative Gewalt liegt hier vor allem beim Bund und vielmehr noch im supranationalen Bereich, d. h. bei der EU. Dennoch können aus Sicht eines Bundeslandes wie Berlin übergeordnete Entscheidungsfindung unterstützt und Argumente zum politischen Gestaltungsprozess von Rahmenbedingungen beigetragen werden. In erster Linie betrifft das die Ausrichtung von Konzepten wie Natura 2000, die Leitbilddiskussion und in diesem Zusammenhang auch eine übergeordnete Strategieentwicklung.

In Diskussionen mit der EU-Ebene etwa sollten politische und andere Handlungsakteure Berlins und seines Umlandes aus Sicht des Naturschutzes und der Landschaftsplanung insbesondere auf eine Neuausrichtung von Natura 2000 und eine modifizierte Definition von weiteren Schutzgebietskulissen hinwirken. Hinsichtlich von Natura 2000, das alle im Rahmen der Fauna-Flora-Habitat-(FFH)-Richtlinie und der Vogelschutzrichtlinie der EU ausgewiesenen Schutzgebiete umfasst, sollte insbesondere der auf einzelne Arten fokussierte Schutz von Biodiversität in konkreten, oft vergleichsweise kleinen und fragmentierten Gebieten kritisch hinterfragt werden (u. a. FROBEL, 2008; IBISCH, 2008); vielmehr müsste es darum gehen, die funktionalen Kohärenzen von und Beziehungen in entsprechenden Schutzarealen stärker zu betonen (CRAMER und VOHLAND, 2008; JESSEL, 2008)).

Dies hat viel mit den aktuellen Leitbildern und Zieldefinitionen des Naturschutzes zu tun. Im politischen Diskussionsprozess sollte Berlin sich dafür einsetzen, dass es akzeptiert wird, dass

Naturschutzgebiete in Zukunft nicht mehr alle Arten aufweisen werden können, für die sie per Definition einmal als schützenswert eingestuft worden sind (siehe auch KRÜGER, 2008; KLOTZ, 2008; VOHLAND et al., 2007); die Artenzusammensetzung wird Veränderungen erfahren und nicht alle Schutzgüter wird man „mitnehmen“ können (HEILAND et al., 2008; IBISCH, 2008). Ein statisches Festhalten an lange verfolgten Konzepten, wonach die Repräsentation von bestimmten Elementen der Biodiversität an einem bestimmten Ort maßgebend sei, ist also nicht mehr zeitgemäß (FROBEL, 2008; Rast, 2008). Im Gegenteil, entsprechende Ansätze sind ggf. aufzugeben, wobei stets ein Abwägungsprozess vorgeschaltet sein sollte: Ziele sollten zunächst hinterfragt und in einem weiteren Schritt erst adjustiert bzw. u. U. verworfen werden. Diese Akzeptanz, nicht alles zu können, was man will, müsste erst einmal ausgebaut werden. Berlin kann und sollte hierzu einen Beitrag leisten.

Die definitorische Abgrenzung von Schutzgebieten müsste dann eher auf das Zulassen von Dynamik im Artenspektrum und generelle, nicht spezielle artbezogene Widerstandsfähigkeit der Schutzgebietskulisse ausgerichtet werden. Es gilt also, Anpassungen der räumlich begrenzten Biodiversität zuzulassen und nicht diese zu konservieren (HEILAND et al, 2008). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen drückt das so aus: Es besteht das Erfordernis der Dynamisierung räumlich-statischer Schutz- und Entwicklungsziele (SRU, 2008). Auch hierauf müsste aus Sicht Berlins geachtet werden (vgl. auch CRAMER und VOHLAND, 2008; KRÜGER, 2008).

Dies setzt einen anderen, modifizierten Umgang mit Schutzgebietskulissen voraus, auf den es hinzuwirken gilt: Anpassungen zuzulassen, heißt Wanderungen zu ermöglichen (vgl. JESSEL, 2008). Entsprechende politische Weichenstellungen wären dann, dass großräumige Objekte des Naturschutzes zunächst in der Diskussion und dann in der konkreten Entscheidungsfindung in den Vordergrund gerückt werden (vgl. hierzu u. a. GEBHARDT, 2006; IBISCH, 2008; siehe auch KRÜGER, 2008; LEUSCHNER und SCHIPKA, 2004). Bei der Auswahl von künftigen Schutzgebieten darf also nicht zu kleinräumig vorgegangen werden (PIK, 2007), was auch einen möglichen Verzicht auf Schutzgebietsfragmente zugunsten größerer Areale einschließt (IBISCH, 2008).

Die Definition von Naturschutzarealen ist vor dem skizzierten Hintergrund neu zu überdenken. Berlin müsste auf politische Entscheidungen drängen, die eine Vergrößerung und De-fragmentierung sowie Vernetzung von möglichst vielen bzw. großen Schutzgebieten respektive entsprechenden Kulissen (für die durchaus unterschiedliche Nutzungsintensitäten definiert werden können bzw. müssen) zum Ziel haben (siehe auch KRÜGER, 2008). Ebenso ist eine konsequente Weiterentwicklung der Biotopverbundplanung wichtig. Jedoch stößt bei alledem Berlin allein wegen seiner eigenen Flächengröße und Insellage schnell an Grenzen. Die Bedeutung von zwischenregionalen Abstimmungsprozessen (zumal mit Brandenburg) wird deutlich. Auf diese soll noch weiter unten eingegangen werden.

Hingewiesen sei an dieser Stelle noch darauf, dass auf der nationalen Ebene ganz aktuell politische Abstimmungsprozesse im Kontext von Naturschutz anstehen, etwa im Hinblick auf die Umsetzung der Nationalen Biodiversitätsstrategie (siehe KÜCHLER-KRISCHAU, 2008) und ein Aktionsprogramm für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (siehe EPPLER, 2008). Die besonderen Beiträge des Landes Berlin für diese zugegebenermaßen bislang sehr vage formulierten und recht breit angelegten nationalen Strategien wären zu identifizieren. Dies könnte über eine Spezifizierung der z. B. in dem Kapitel B.1.3.3. „Urbane Landschaften“ der Nationalen Biodiversitätsstrategie (BMU, 2007) eher grob vorgegebenen Inhalte erfolgen, die zu untersetzen wären. Orientierung hierfür sollte sein, komplementäre Ziele und Aktivitäten zu verfolgen, wie sie aus naturschutzfachlicher und planerischer Sicht - wie im Folgenden beschrieben – als opportun angesehen werden.

Hilfreich könnte zudem sein, dass im Zuge des „Gesundheitschecks“ der GAP der EU das Thema Klima als besondere Herausforderung für Anpassungen erkannt wurde. Mittel der zweiten Säule der GAP, aus der bereits jetzt verschiedene Naturschutzmaßnahmen und auch die Flurneuordnung co-finanziert werden können, dürften aller Voraussicht nach auch für klimazielbezogene Maßnahmen verwendet werden. Einschränkend ist jedoch in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass solche Optionen aufgrund der politischen Gestaltungsmöglichkeiten nur in enger Zusammenarbeit mit dem Land Brandenburg respektive auf der Basis des entsprechenden operativen Programms des Landes und in Erwartung entsprechender EU-Regularien, die die Ergebnisse des Gesundheitschecks erst noch in Rechtsform bringen müssen, wahrgenommen werden können.

### Umsetzung eigener naturschutzfachlicher und planerischer Konzepte

Viele der bereits aufgeworfenen Aspekte können nicht nur der nationalen bzw. supranationalen Ebene zugeordnet werden. Naturschutzleitbilder, -ziele und -strategien sowie vernetzte, defragmentierte und möglichst große Flächenkulissen sind auch Gegenstand der Umsetzung im regionalen, hier Berliner Kontext. Hier setzt zunächst die folgende Argumentation an.

Das naturschutzfachliche Konzept für ein Bundesland wie Berlin basiert zunächst einmal auf dem Bundesnaturschutzgesetz und daraus folgend dem entsprechenden Landesgesetz. Angesichts der zu erwartenden allgemeinen Klimawirkungen bietet sich eine teilweise Überarbeitung der eigenen naturschutzfachlichen Basis – konkret SENATSV ERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, 2004a; 2004b; 2000b – und der darauf fußenden Konzepte an. Grundsätzlich muss diese Basis nicht neu formuliert werden, denn die beispielsweise im Berliner Naturschutzgesetz (SENATSV ERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, 2004a) auf Basis der bundesgesetzlichen Regelungen formulierten allgemeinen Vorschriften und Grundsätze für die eigene Landschaftsplanung decken eine Integration des aus Sicht des Klimawandels Notwendigen eigentlich schon ab. Eher geht es um Ergänzungen und Modifizierung der darauf begründeten Verfahren und Programme; und es geht um deren konsequente Implementierung.

Klima sollte in diesem Rahmen nicht mehr als Konstante angesehen werden, vielmehr ist – wie es ja die Auseinandersetzung mit der Thematik Klimawandel schon per Begriffsdefinition nahe legt – Klima eine Variable. Diese Variable müsste stärker als bislang, insbesondere in den Programmen, berücksichtigt werden (HEILAND, 2008). D. h. die zwar immer noch vergleichsweise unsicheren, jedoch in eine klare Richtung weisenden Klimaprojektionen sind geeignet aufzubereiten und zweckmäßig im Rahmen der naturschutzplanerischen Gesamtkonzeption darzustellen. Das schließt die Darstellung von Folgewirkungen unbedingt mit ein. Dieses Gutachten mag dafür bereits eine erste und verwertbare Analyse darstellen. Die Informationsgrundlagen, das können neben konkreten Beobachtungen auch Modellberechnungen sein, wären jedoch immer wieder zu aktualisieren (EPPEL, 2008) und belastbarer zu machen (RAST, 2008), allein schon weil die Wissenschaft zunehmend Fortschritte erzielt. Wert sollte dabei explizit auf folgende Aspekte gelegt werden:

- Grundlage für künftige Entscheidungen können weniger Beobachtungen sein; vielmehr werden Szenarienanalysen und Modellergebnisse die erforderlichen Entscheidungsgrundlagen bereitstellen müssen (KLOTZ, 2008). Diese systemimmanente Unsicherheit könnte im Hinblick auf die politische Diskussion einen vergleichsweise starken Dissens und eine insgesamt schwierige Konsensfindung bedeuten (vgl. RAST, 2008). Diesem Diskurs sollte man sich von vornherein bewusst sein und stellen (CRAMER und VOHLAND, 2008). Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang die offensive Erörterung der mit der Thematik assoziierten Unsicherheiten (EPPEL, 2008; FROBEL, 2008; HEILAND, 2008). Unsichere Faktenlagen führen oft dazu, dass Änderungen vermieden und ein bestimmter Status quo beibehalten wird. Dies könnte im Kontext von Naturschutz und Klimaänderung mittelfristig für Berlin und sein Umland fatal sein. Stillstand wird man sich nicht leisten können (KÜCHLER-KRISCHAU, 2008); gleichwohl ist auch unbegründeter Aktionismus fehl am Platze (HEILAND et al., 2008).
- Im Rahmen der naturschutzfachlichen Planung müsste dann eine ebenso kritische Auseinandersetzung mit den oben bereits skizzierten allzu starren, statischen und auch scharf umrissenen Leitbildern zum Naturschutz geführt werden (IBISCH, 2008, 2006b; KRÜGER, 2008): Wie gesagt sollte ein umfassender Schutz der Funktionalität (u. a. Durchlässigkeit, Wanderungsfähigkeit, Änderungstoleranz, Dynamik, etc.) von Naturräumen über artspezifischem Schutz stehen (siehe u. a. UBA, 2008; ZEBISCH et al., 2005). Das ist allein schon deshalb wichtig, weil der Erhalt der Funktionalität Ökosysteme erst in die Lage versetzt, Auswirkungen des Klimawandels besser abpuffern zu können (HOLSTEN, 2007).
- In diesem Zusammenhang gilt es, Zielprioritäten zu setzen (FROBEL, 2008; KRÜGER, 2008). Nicht die Definition möglichst vieler Ziele, wie etwa in der Nationalen Biodiversitätsstrategie (siehe auch KÜCHLER-KRISCHAU, 2008) ist angemessen, sondern die Konzentration auf wesentliche Ziele und Aufgaben, die mit dem vorhandenen (geplanten) Budget umfassend angegangen werden können. Ziele, die chancenlos sind, wären dann aufzugeben (KRÜGER, 2008). Das träfe u. U. auch auf Bemühungen zu, eine Art in einer ganz bestimmten Lokation zu halten/zu schützen, wenn es das Budget nicht langfristig hergeben würde. Entsprechende Aktivitäten sollten dann auch nicht mehr geplant und durchgeführt werden. Primat sollten demgegenüber flächenbezogene Planungsansätze haben.
- Es gilt: mehr Natur- und Landschaftsschutz benötigt auch mehr Fläche (KLOTZ, 2008). Das gilt im Besonderen für Berlin und sein Umland. Denn hier ist die Flächenkonkurrenz nicht nur zwischen Natur(schutz) und Land- sowie Forstwirtschaft gegeben, sondern zusätzlich und in ganz außerordentlichem Maße auch in Bezug auf die Bebauung und Versiegelung von Flächen sowie auf die Bereitstellung von Arealen für Erholung und Tourismus. Das inhärente Konfliktpotenzial sollte vor naturschutzfachlichen Planungen mit betroffenen Stakeholdern breit diskutiert werden und zu einer Konsensfindung führen (HEILAND, 2008). Das setzt eine fachübergreifende Planung und wohl in Teilen auch eine regionsübergreifende Diskussion voraus. Integrativer Naturschutz ist wichtig.

Benötigt werden im Besonderen Schutzraumverbünde, was wiederum eine bessere Biotopverbundplanung – der Klimawandel war bislang kein Planungskriterium für die Definition von Biotopverbundsystemen – und eine in Nutzungsintensitäten verschiedene Kombination von Schutzgebietskulissen mit einem hohen Schutzwert und solche Kulissen umrahmenden Schutzarealen mit geringerem Schutzwert bedingt (KRÜGER, 2008, VON HAAREN, 2008). Ggf.

müssten zusätzliche Schutzareale mit individuell festgelegten, die bisherige Nutzung nur zielkonform einschränkenden Nutzungsintensitäten definiert werden. Die seitens Berlins anvisierte Ausdehnung der Landesfläche, die künftig als Landschaftsschutzgebiet postuliert werden soll (SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, 2008a), deutet aus Sicht des Naturschutzes im Klimawandel deshalb in die richtige Richtung. In einem nächsten Schritt könnte Berlin entsprechende Entwicklungspotenziale identifizieren, dann ausweisen und schließlich sichern und weiterformen.

Es ist nahe liegend, dass auch dies in enger Abstimmung mit Behörden des Landes Brandenburg und zum Teil sogar darüber hinaus erfolgen müsste, allein schon wegen der Großräumigkeit künftig wahrscheinlich notwendiger Schutzgebietskulissen, aber auch wegen der gebietsübergreifenden Auswirkungen von Klimaänderungen und Anpassungsreaktionen an diese Änderungen. Im Rahmen größerer Managementverbünde ließen sich zudem Trade-offs vermeiden oder zumindest minimieren, etwa wie sie entstehen, wenn für Naturschutzgebiete am Oberlauf der Spree Wasser zur Verfügung gestellt wird bzw. in Zukunft werden müsste, das dann am Unterlauf, konkret im Berliner Raum, für ähnliche Naturschutzbelange fehlt bzw. fehlen könnte. Einem entsprechend erhöhten Abstimmungsbedarf zwischen den Regionen sollte man sich frühzeitig bewusst sein und das Gestalten von Konzepten entsprechend lenken.

Biotopverbunde und überregionale Abstimmungen vereinfachen dann das Ermöglichen von Wanderungsbewegungen von Tier- und Pflanzenarten, um dem teilweisen Verlust von Biodiversität entgegenzuwirken (KLOTZ, 2008). Wanderkorridore müssen freigehalten werden (FROBEL, 2008), und es müssen unter Umständen Ausweichhabitats planerisch gesichert bzw. erst geschaffen werden (IBISCH, 2008; JESSEL, 2008). Potenzielle Flächen dafür wären explizit zu sichten und freizuhalten. Ausbreitungshindernisse für Spezies müssen im Mindesten durch Habitatkorridore und die Stabilisierung der Flur mit strukturierenden, kleinräumigen Elementen minimiert werden (u. a. CRAMER und VOHLAND, 2008; FROBEL, 2008). Auf die allgemeine Durchlässigkeit der Landschaft wäre zu achten (JESSEL, 2008; KORN, 2006; PIK, 2007). Ggf. muss sogar über Translokationen von Arten in andere Schutzgebiete entschieden werden (IBISCH, 2008), insbesondere dann, wenn das Überleben der entsprechenden Art in einem ganz bestimmten Gebiet nicht mehr gesichert, wohl aber in einem anderen Gebiet mit vertretbarem Aufwand ermöglicht werden kann.

Eine wichtige Bedeutung wird dem Managementansatz von Naturschutzgebieten zukommen (KÖLLING, 2006). Hier können Weichenstellungen vermutlich schneller erfolgen, als auf der legislativen Ebene. Wenn es innerhalb einer bestimmten Frist nicht gelingen sollte, Schutzgebietskulissen zu verbinden und zu vernetzen bzw. zu erweitern, bietet sich die Möglichkeit an, Managementverbünde zu gestalten (IBISCH, 2008). Die Abstimmung von Managements für konkrete naturschutzfachliche Belange ist aber auch ohnedies angeraten. So ist im Berliner Kontext z. B. zu fragen, ob nicht etwa das Management des Spandauer Forstes enger mit dem Management der direkt angrenzenden Falkenseer Kuhlaake (in Brandenburg) verknüpft, eventuell sogar vereint werden kann. Weitere ähnliche Beispiele lassen sich leicht finden, verfügt Berlin doch über zahlreiche stadtgrenznahe Schutzgebietskulissen (siehe SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, 2008b). Freilich erfordert ein solches Koordinieren von Management eine klare Definition/Teilung von Zuständigkeiten, die Formulierung gemeinsamer Ziele und schließlich die Umsetzung angepasster Managementpläne (IBISCH, 2008).

Im Rahmen eines solchen, eher großräumig- bzw. integrativ-orientierten Managements wäre es darüber hinaus angeraten, die vorhandenen Managementpläne und -programme regelmäßiger als bisher zu überprüfen. Zeitintervalle von weit mehr als fünf oder zehn Jahren

zwischen Überprüfungen werden nicht mehr als opportun angesehen (EPPLÉ, 2008; HEILAND, 2008). Ggf. sind Pläne gänzlich zu revidieren. Die dafür notwendige Diskussion sollte fach- (JESSEL, 2008) und im Berliner Kontext wohl auch länderübergreifend erfolgen, insbesondere wenn andere als naturschutzfachliche Nutzungen der Gebietskulissen zugelassen sind. Partizipation aller beteiligten Stakeholder wäre dazu vonnöten, was eine stärkere Nutzung informeller Verfahren bei der Entscheidungsfindung bedingt (HEILAND, 2008).

Bei der Entwicklung zu planender Vorhaben sollte zudem im Mindesten den so genannten „klimatischen Faktoren“ im Rahmen der Strategischen Umweltprüfung (SUP) und auch der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) eine stärkere Bedeutung als bisher zukommen (FROBEL, 2008; HEILAND, 2008). Von den bei entsprechenden Prüfungen zu berücksichtigenden Faktoren (vgl. u. a. EUROPÄISCHES PARLAMENT UND EUROPÄISCHER RAT, 2001), können diese klimatischen Faktoren hinsichtlich ihrer Wertigkeit als bislang eindeutig untergewichtet angesehen werden. Durch entsprechend gezielte Ausschreibungen zur Durchführung solcher Prüfungen unter besonderer Berücksichtigung des Aspekts Klima ließe sich (a) die bereits oben beschriebene Informationslücke für konkrete politische Programme und öffentliche Projekte im Mindesten reduzieren, und es könnte (b) auch eine stärkere Sensibilisierung von Planern und Entwicklern mit der Thematik erreicht werden. Auf dieser Basis könnten entsprechende Programme und Projekte frühzeitig angepasst oder auch von einer Implementierung ausgeschlossen werden.

Angesichts der bereits mehrfach beschriebenen Unsicherheiten wäre es zudem opportun, Pilot- und Demonstrationsvorhaben anzustoßen sowie Referenzflächen für die Umweltbeobachtung auszuweisen (EPPLÉ, 2008; FROBEL, 2008; HEILAND, 2008). Auch das sollte bei der naturschutzfachlichen Planung bedacht und mit (zusätzlichen) Mitteln ausgestattet werden, denn das zweckmäßige Monitoring von klimabedingten Wirkungen auf den Naturhaushalt wird die Erkenntnisse mehren helfen und Prognosen genauer werden lassen. In diesem Zusammenhang sei an Erkenntnisse erinnert, die man gewonnen hat, weil in Berlin schon jetzt viele Arten zugewandert sind, die eigentlich wärmeren Gefilden entstammen: Daraus lassen sich wertvolle Schlussfolgerungen für Entwicklungen in anderen (künftig wärmer werdenden) Gebieten ziehen.

Vor diesem Hintergrund sei auf ein interessantes Berliner Experimentierfeld verwiesen, die A+E-Maßnahmen, wie sie etwa von den Berliner Stadtgütern durchgeführt werden. Die Frage steht im Raum, in welcher Weise diese Maßnahmen zukünftig angesichts des Klimawandels ausgerichtet werden müssten, ob etwa die momentan üblichen Baum- und andere Pflanzungen überhaupt widerstandsfähig genug wären. Die Frage kann nicht einfach beantwortet werden, weil entsprechende artenbezogene Szenarien noch nicht verfügbar sind, jedenfalls nicht mit entsprechend belastbaren Ergebnissen (siehe oben). Auch wären explizit für eine solche Aussage Kenntnisse über ganz spezifische Parameter hinsichtlich der Bodenstruktur und -güte als Entscheidungsgrundlage unerlässlich; dies ginge zweifelsfrei über den Betrachtungsgegenstand dieses Gutachtens hinaus. Aus der Not kann jedoch eine Tugend gemacht werden: Es wird dafür plädiert, die A+E-Maßnahmen weiterhin als eine Art Experimentalstation für die Umweltbeobachtung zu nutzen, was sie quasi ja schon sind. So hat sich z. B. in den letzten Jahren gezeigt, dass über unterschiedliche Anpflanzungen wertvolle Informationen zur Nachhaltigkeit dieser Maßnahmen gewonnen werden konnten. Diese Informationen gilt es zu sichern und zu mehren und mit Klimadaten zu vernetzen. Dies wäre auch ein spezieller langfristiger Berliner Beitrag zur Erkenntnisgewinnung klimabedingter Veränderungen.

## Stadtplanerische Gestaltungsoptionen für innerstädtische Areale

Auf Berlin als urbaner Standort kommen vor dem Hintergrund des Klimawandels besondere Aufgaben zu. Angesichts des bereits oben beschriebenen „städtische Wärmeinsel“-Phänomens werden sich die gesundheitlichen und stresssymptomatischen Belastungen für den Menschen in der Stadt erhöhen; Ausgleichsmaßnahmen werden dann notwendig und bedingen stadtplanerisches Handeln.

Die Belastungen werden eine verstärkte Nachfrage nach Erholung und Reaktivierung durch die Bevölkerung zur Minderung negativer Implikationen nach sich ziehen. Entsprechend müsste im Mindesten die Erholungsfunktion von Naturlandschaften – d.h. Forsten, öffentliche Parkanlagen, etc. – gestärkt werden. Dies jedoch dürfte zweifelsohne den Nutzungsdruck auf noch vorhandene Freiflächen weiter erhöhen bzw. für eine Renaturierung potenziell verfügbarer Flächen, wie etwa Industrie- und andere Brachen, sprechen. Berlin scheint hier bereits auf einem guten Weg zu sein, wie etwa die explizit hervorgehobene Erholungsfunktion der Wälder gegenüber beispielsweise deren Wirtschaftsfunktion und verschiedene Planungswerke, wie z. B. das Planungswerk „Westraum Berlin“ (SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, 2004c), zeigen. Auch ist in diesem Zusammenhang auf die Kooperation der Stadt mit dem Deutschen Wetterdienst, konkret auf die Aktualisierung des Umweltatlas von Berlin unter Berücksichtigung von Wärmebelastung und künftiger Klimaentwicklung, zu verweisen.

Besonderes Augenmerk muss zudem der Freihaltung von Kaltluftschneisen und Kaltluftentstehungsgebieten gewidmet werden. Diese ermöglichen die Produktion von Frischluft sowie den horizontalen Luftaustausch und beugen einer noch stärkeren Erwärmung insbesondere innerstädtischer Gebiete vor. Die hierfür prädestinierten und vorhandenen Freiflächen Berlins – dies sind fast 50 % der Stadtfläche (ABGEORDNETENHAUS BERLIN, 2008) – sind weiterhin offen zu halten, ihre Funktion ist verstärkt zu steuern (BEIERKUHNEIN, 2008, HEILAND, 2008). Vor diesem Hintergrund weist das Klimapolitische Arbeitsprogramm des Landes Berlins – gestützt auf integrierte Daten des Umweltatlas von Berlin –, das eine Freihaltung von Luftaustauschbahnen und die Ausweisung entsprechender Vorranggebiete ausdrücklich benennt, und eine entsprechende Bauleitplanung in die richtige Richtung (SENATSWERWALTUNG FÜR GESUNDHEIT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2008; SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, 2008a)). Kaltluftentstehungsgebiete sind im Berliner Landschaftsprogramm als so genanntes Vorranggebiet Klimaschutz dargestellt; und für wichtige Grün- und Freiflächen gelten Planungsempfehlungen wie „Vermeidung von Austauschbarrieren“ und „Vernetzung von Freiflächen“ (ABGEORDNETENHAUS BERLIN, 2008).

Der Vernetzungsgedanke soll hervorgehoben und argumentativ gestärkt werden. Stadtbauung kann den Transport von Kaltluft z. T. maßgeblich einschränken. Neben großen Freiflächen zur Kaltluftproduktion ist deshalb gerade auch ein Netz aus kleinen und mittelgroßen Grünflächen von ausschlaggebender Bedeutung. Diese Bedeutung ergibt sich nicht nur aus der Weiterleitungsfunktion in Bezug auf Kaltluft, sondern vor allem auch aus der unmittelbaren Abkühlungsfunktion, die solchen Flächen eigen ist, die sich aber mit zunehmender Entfernung im Raum wieder deutlich abschwächt. Beispielsweise ermittelte SCHERER (2007), dass bestimmte Flächen von mindestens einem Hektar auf bis zu 300 m Wärme in bebauten Zonen effektiv austauschen können. Zu überlegen ist vor diesem Hintergrund, anders als bisher (siehe ABGEORDNETENHAUS BERLIN, 2008) noch nicht ausgewiesene Flächen kleiner als drei ha ebenfalls im Flächennutzungsplan und Landesprogramm gesondert darzustellen und ggf. mit Schutzeigenschaften, die eine anderweitige Flächenverwertung ggf. auch verhindern, zu kennzeichnen. Darüber hinaus wäre zu prüfen, wie eine zusätzliche Reaktivierung von Bra-

chen als Kaltluftstandorte in Angriff genommen werden kann, denn die Neuschaffung von Grünland in städtischer Umbauung wird als wichtig angesehen (GILL et al., 2007; HEILAND et al., 2008). Ein wichtiger Aspekt sollte bei alledem allerdings nicht vernachlässigt werden. Freiflächen, egal ob bereits vorhanden oder zusätzlich noch zu schaffen, werden insbesondere in Trockenperioden ihrer Kaltluftproduktionsfunktion nur dann gerecht werden können, wenn sie auch mit Wasser versorgt werden können. Es ist davon auszugehen, dass trockene Grasstandorte sich u. U. stärker erhitzen als bestimmte versiegelte Flächen (GILL et al., 2007; SCHERER, 2007). Mithin besteht auch hier ein Trade-off, der wieder die grundsätzliche Bedeutung des Themas Wasser unterstreicht.

Schließlich ist auf eine Gestaltungsoption in kleinräumigen Dimensionen zu verweisen. Neben horizontalen Luftbewegungen müssten verstärkt vertikale Luftbewegungen zugelassen werden, insbesondere auch außerhalb der Berliner Kaltluftschneisen. Dies bedingt (a) in der Höhe unterschiedlich strukturierte Freiflächen, Gruppen von Bäumen und Büschen auch auf engem Raum sowie (b) Änderungen im bereits versiegelten Raum: Eine aufgelockerte, unterschiedlich hohe Bebauung, wo möglich, sowie die Schaffung von helleren bzw. sogar grünen Dächern und (Straßen-)Wegen wären hier im Speziellen Prioritäten (siehe auch GREATER LONDON AUTHORITY, 2006), die es aus stadt- und bauplanerischer Sicht zu setzen gälte.

Insgesamt geht es also um „grüne Infrastruktur“, die als viel versprechende Option des Umgangs mit Adaptationen an den Klimawandel im städtischen Kontext angesehen wird (vgl. hierzu auch GILL et al., 2008): Städtische Freiräume – gleich welcher Form, ob Parks, Alleen, Kleingartenanlagen, oder landwirtschaftliche Flächen, temporär oder gänzlich einer Renaturierung überlassene Areale – üben wertvolle Vitalfunktionen für Städte und die in ihnen lebenden Menschen aus. Begrünter Innenraum muss allein von daher ein zentrales Element strategischer Stadtentwicklungsplanung werden. Diese Planung selbst muss jedoch kreativ sein, auch wegen der anderen Begehrlichkeiten und Notwendigkeiten, die Stadtplanung und Bebauung ausüben. Zentral wird von daher sein, diese Notwendigkeiten mit den Bedürfnissen, die aus einem Klimawandel resultieren, zu vereinbaren. Dies kann nur über angepasste Planungs- und Umsetzungsprozesse geschehen. In der Tat geht das weit über die eigentliche Planung hinaus: Gestaltungs-/Strukturierungs- und auch angepasste Pflegekonzepte müssen umgesetzt werden, sollen die erwarteten kompensatorischen Wirkungen von Grünflächen erzielt werden (Stichwort: Bewässerung). Nicht nur die Quantität der vorgehaltenen Flächen wird entscheidend sein, sondern auch deren Qualität.

Zudem wäre es durchaus sinnvoll, über SUP und UVP hinaus die Klimarelevanz – hier im Besonderen die Effekte auf die Anpassungsfähigkeit an Klimaänderungen – sämtlicher größerer bzw. relevanter stadtplanerischer Vorhaben zu prüfen und in die planerische Steuerung von Vorhaben zu integrieren. Viel versprechende Ansätze sind dafür in Berlin vorhanden, etwa das Planungsinstrument des Biotopflächenfaktors (SENATSVORWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, 2000) und die Planungshinweiskarte Stadtklima. Auch das konkrete Vorgehen im Projekt „Heidestrasse“, bei dem im Planungsprozess die klimarelevanten Fragen quasi im Pilotvorhaben gestellt werden, ist in diesem Zusammenhang zu nennen. Eine konsequente Anwendung und vor allem Weiterentwicklung dieser Ansätze, etwa im Sinne eines umfassenden Katalogs zur Prüfung von Klimaimplikationen scheint angeraten, um das Thema Klimaanpassung stärker in den Fokus der administrativen wie öffentlichen Diskussion zu verankern. Bereits die aktuelle Diskussion über die Nutzung der auch aus Naturschutzsicht großen und bedeutenden Areale der Flughäfen Tempelhof und Tegel kann hieran anknüpfen und würde sicherlich zu einer Schärfung der eigenen Position des Landes Berlin führen.

Berlin hat für Deutschland sicherlich das Potenzial, eine Art Vorreiterrolle in der Diskussion, Initiierung und Implementierung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Kontext von Naturschutz und Landschaftsplanung zu übernehmen. Es muss sich dafür aber auch als eine Art Experimentierstation verstehen, die zum Ziel hat, mit Flächen sparsam umzugehen bzw. diese für Grünflächen- und Biotopverbunde freizuhalten und auch zu renaturieren, und sei eine solche ruderale Besiedlung auch nur auf Zeit als Zwischennutzung.

Dies alles bedingt aber auch offensive Öffentlichkeitsarbeit und Forschungsinitiation von Seiten des Landes bzw. der Stadt. Über entsprechende Kommunikation muss die Bevölkerung über den Klimawandel, was dieser für das städtische Leben und Leben im Umland bedeutet und im Hinblick auf Anpassungsmaßnahmen sensibilisiert werden. Auch sollte das Reservoir an Forschungskapazitäten in Berlin und Umland gezielt mobilisiert werden: Stadtplaner, Klimaforscher, Ökosystemforscher und Ökonomen arbeiten längst an entsprechenden Fragestellungen. Synergien zur weiteren Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen könnten bei gezielter Forschungssteuerung vermutlich relativ schnell und vergleichsweise umfassend erzielt werden.

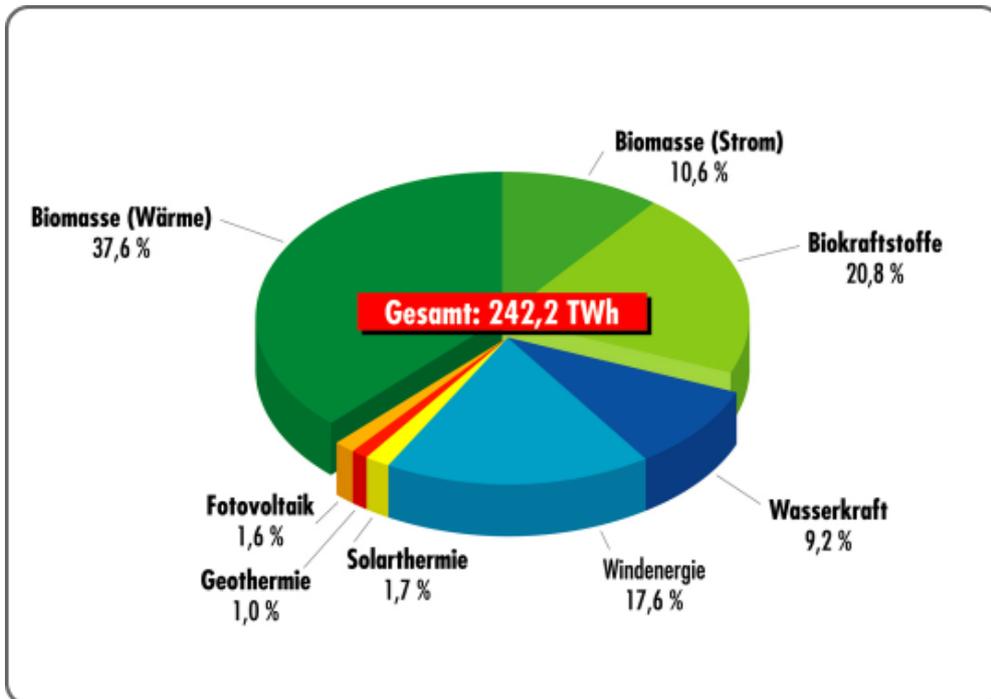
## 8 Landschaftsrelevante Auswirkungen einer verstärkten Bioenergie-Produktion

Der Klimawandel und die knapper werdenden Ressourcen fossiler Energieträger zwingen zur Entwicklung neuer und Forcierung alternativer Technologien. Dies ist auf politischer Ebene erkannt worden, weshalb die Energieerzeugung in Deutschland in Zukunft durch höhere Anteile erneuerbarer Energien bestimmt werden soll (Meseberger Beschlüsse 2007). Dabei tragen sowohl die Nutzung der Solarenergie, die Förderung von Windkraft als auch die Energieerzeugung aus Biomasse zu einer Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Alle drei alternativen Energiequellen haben bereits an Bedeutung gewonnen, und ihre Anteile am Energiemix werden auch in Zukunft wachsen (vgl. Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg). Die Substitution von Erdöl durch nachwachsende Rohstoffe aus Biomasse ist eine derzeit in Anwendung und Entwicklung besonders geförderte Technologie.

Bei der energetischen Nutzung von Biomasse kommen ganz unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Beispielsweise wird in einer Biogasanlage organisches Material mit Hilfe von Bakterien und unter Ausschluss von Luft in Methangas verwandelt. Ein anderes Verfahren vergärt Pflanzenzucker oder -stärke zu Alkohol, der dann mit Benzin zu einem Alternativkraftstoff gemischt wird. In Politik und Öffentlichkeit wird der Einsatz von Biomasse aus Holz, Stroh, Getreide, Zuckerrüben, Pflanzenölen, Bioabfällen, Exkrementen oder Algen als mögliche Energiequelle angesehen und sollte einen Beitrag zu den Klimaschutzziele leisten. Die in Deutschland anvisierten Pflichtquoten zur Beimischung von Biokraftstoffen von 6,75 % im Jahr 2010 und 20 % im Jahr 2020 spiegeln dies wider (BUNDESGESETZBLATT, 2006). Generell gilt, dass die Biomasseproduktion auf der einen Seite signifikant zur CO<sub>2</sub>-Reduktion beitragen muss. Dies bedeutet, dass sie an ihren CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bilanziert wird, in die Kosten aller Produktionsmittel wie Treibstoff, Dünger, Pestizide usw. einfließen. Auf der anderen Seite soll durch die festgesetzten Pflichtquoten die Geschwindigkeit des Biomasseanbaus reguliert werden, um weder die biologische Vielfalt noch die Lebensmittelproduktion zu beeinträchtigen.

Wie groß der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe an den erneuerbaren Energien allerdings sein wird, ist umstritten (vgl. JUNG & HÖRCHSTMANN-JUNGEMANN, 2007). Momentan hat Biomasse mit etwa 70 % den größten Anteil am Einsatz aller erneuerbaren Energieträger, wie *Abbildung 8.1* zeigt (vgl. auch SRU, 2007). Das Potenzial der Biomasseproduktion hängt von verschiedenen Faktoren ab. Zu nennen sind hier die Wirtschaftlichkeit und Effizienz von Nutzungspfaden, die wiederum von der Agrar- und Energiepolitik und damit in Verbindung stehenden umwelt- und naturschutzrechtlichen Anforderungen abhängen. Insgesamt beläuft sich die Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland zurzeit auf 2 Mio ha – dies entspricht ca. 17 % der Ackerfläche. Die Abschätzung des weiteren Potenzials der Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung ist nicht ganz unproblematisch. In früheren Potenzialstudien (z.B. SCHOLZ, 1999) wurde der größte Anteil der Biomasseproduktion auf Stilllegungsflächen erwartet; von den 4,6 Mio ha Stilllegungsflächen in Deutschland wurden zwischen 2002 und 2005 knapp 28 % (ca. 1,3 Mio. ha) für die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen genutzt. Die Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Energiepflanzenproduktion hat aber dazu geführt, dass heute nur noch knapp 30 % des Rapses, der zu Biodiesel verarbeitet wird, von Stilllegungsflächen stammt (KNOLL & RUPP, 2007; vgl. SCHULTE, 2006). NITSCH et al. (2004) kalkulieren bis 2030 ein Potential von bis zu 4,3 Mio ha, das bis 2050 auf

6,1 Mio ha ausgeweitet werden könnte. KALTSCHMITT et al. (2006) rechnen bis 2030 mit 3 Mio ha. Dies entspricht auch der Prognose von PETZOLD (2007).



**Abbildung 8.1** Anteil der Bioenergie an den Erneuerbaren Energien 2007. Quelle: FNR, 2008

Aufgrund der starken Förderung des Bioenergieanbaus bei gleichzeitiger Deregulierung der Nahrungs- und Futtermittelproduktion ist die bereits genannte Flächenkonkurrenz zwischen diesen Nutzungsformen eines der Probleme des ausgedehnten Bioenergieanbaus (vgl. ISERMEYER & ZIMMER, 2006). Mit der verstärkten Biomasseproduktion sind aber eine Reihe weiterer Probleme verbunden. Diese sind auf der einen Seite rein praktischer Natur: Ein mit Biogas betriebenes Blockheizkraftwerk ist hinsichtlich seiner Klimabilanz kaum zu schlagen, aber auf dem Land, wo Biogas erzeugt wird, findet die Wärme des Kraftwerkes kaum genügend Abnehmer. Durch die Gasnetz Zugangsverordnung ist seit 2005 die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz prinzipiell möglich, auch wenn sich Netzbetreiber lange gegen diese Verordnung gewehrt haben. Entscheidender sind aber die grundsätzlichen Probleme der Biomasseproduktion.

### Flächenbedarf

BMELV (2007) gehen bei einer Ausweitung des Biomasseanbaus auf 30 % der Ackerflächen Deutschlands unter Beibehaltung des heutigen Bioenergiemixes davon aus, dass die dadurch erzeugte Energie lediglich knapp 2 % des Endenergieverbrauchs decken kann. Zu einer ähnlichen Einschätzung des gesamten Potenzials der in Deutschland erzeugbaren Biomasse kommt auch SRU (2007). UCKERT et al. (2007) kommen zu dem Schluß, dass die Flächenansprüche einer parallelen Realisierung der energiepolitischen Ziele für Strom, Wärme und Treibstoff nur schwer zu erfüllen sein werden und im Widerspruch zu einer ökologischen und raumverträglichen Umsetzung stehen. Die für den Biomasseanbau geeigneten Flächen seien bereits heute durch die Nahrungs- und Futtermittelindustrie beansprucht.

### Umweltbelastung

Auch die Flächenkonkurrenz zwischen Acker- und Grünland verschärft sich durch das Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) und den Trend zu Biogasanlagen, die nur auf Maisbasis arbeiten. Energiemais gilt neben Raps als Kultur mit starken Umwelteffekten, da die Bewirtschaftung mit einem erheblichen Einsatz an Agrochemikalien verbunden ist. Zwischen 2005 und 2006 hat sich der Anbau von Energiemais bereits mehr als verdoppelt. Damit verbunden sind engere Fruchtfolgen, erhöhter Nutzungsdruck und Grünlandumbruch, selbst in Auen und Mittelgebirgslagen (NABU, 2007). Die Ausdehnung des intensiven Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen auf weniger produktive, bisher extensiv genutzte Flächen verstärkt bereits vorhandene Konflikte z. B. hinsichtlich Wasserverfügbarkeit (z. B. BERNDES, 2002; IPCC, 2008) oder formulierten Naturschutzziele. Auch für den Klimaschutz per se können die Ausweitung der Kulturlächen und ihre intensivere Nutzung zu negativen Effekten führen. CRUTZEN et al. (2008) zeigen auf globaler Ebene beispielsweise, wie der verstärkte Düngermiteinsatz beim Energiepflanzenanbau die Effekte der Einsparung von fossilen Brennstoffen durch Emission des Lachgases  $N_2O$  nivelliert oder ins negative verkehrt. WBA (2007) kommt zu dem Schluß, dass mit dem von der Bundesregierung verabschiedeten Entwurf der Biomasse-Nachhaltigkeits-Verordnung (vgl. PAUL, 2008), welche die steuerliche und ordnungsrechtliche Förderung von Bioenergie an definierte Nachhaltigkeitskriterien koppelt, diese Risiken nicht in den Griff zu bekommen seien.

### Naturschutz und Kulturlandschaft

Die mit dem vermehrten Anbau nachwachsender Rohstoffe verbundenen Strukturveränderungen stellen eine Bedrohung für ackerbrütende Vogelarten dar (DZIEWIATY & BERNARDY, 2007). Ebd. weisen für ausgewählte Nord- und Nordostdeutsche Standorte Auswirkungen ausgedehnter Biomassenutzung auf die Artenvielfalt von Vögeln in der Agrarlandschaft nach. Insbesondere die frühere Ernte des Getreide-Ganzpflanzensilage-Anbaus fällt genau in die Brut- und Nestlingszeit von Arten wie Wachtel, Heide- oder Feldlerche, Schafstelze, Goldammer und Ortolan. Die Möglichkeit einer weiteren Fruchtfolge bedeutet auf der anderen Seite eine längere Bodenbedeckung und somit Erosionsschutz. Wenn der Getreide-Ganzpflanzensilage-Anbau als zusätzliches Fruchtfolgeglied betrieben wird, kann das auch zur Mosaikentfaltung der Landschaft beitragen (PÖLKing et al. 2006). Generell wird der zunehmende Flächenanspruch des Biomasseanbaus im Hinblick auf seine Auswirkungen auf die Kulturlandschaft aber eher kritisch betrachtet. PETERS (2007) weist auf die Reduzierung der ökologischen Ausgleichsfunktion der Landschaft durch intensive Wiederbewirtschaftung von Brachen oder Grenzertragsflächen sowie die intensive Bewirtschaftung von Stilllegungsflächen hin. UCKERT et al. (2007) nennen ästhetisch problematische Monokulturen, die weiterhin vorwiegen, die gewerbliche Prägung von Räumen genauso wie abnehmende Biodiversität bei zunehmender Intensität landwirtschaftlicher Nutzung und Geruchs- und Geräuschemissionen von Biogasanlagen.

## 8.1 Potenzial für den Bioenergieanbau in Berlin-Brandenburg

Den momentan vorherrschenden Mix zwischen stofflicher und energetischer Nutzung der Biomasse wird es auch langfristig geben, wobei sich der jeweilige Anteil an den politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ausrichtet. 2006 wurden in Brandenburg auf 62.000 ha Energiepflanzen angebaut; dies entspricht einem Anteil der gesamten Ackerfläche von knapp 4,5 %. Winterraps, Winterroggen und Silomais waren die bevorzugten Kulturpflanzen. Zusätzlich wurde Biomasse auf Stilllegungsflächen produziert, auf denen dementsprechend die Energiepflanzen nicht als solche deklariert werden. Ihr Umfang wird mit nochmals 17.000 ha beziffert (UCKERT et al., 2007); präferierte Arten sind Silomais und Winterraps. Teilflächen der früheren Rieselfelder in und außerhalb der Stadtgrenzen können auch eine Potenzialfläche für zukünftigen Biomasseanbau darstellen, sofern eine ausreichende Wasserverfügbarkeit gegeben ist. Die Rechtecke in den *Abbildungen 8.2* und *8.3* zeigen den Flächenanteil des Energiepflanzenanbaus im Bundesland Brandenburg im Ist-Zustand sowie bei Realisierung der Anbauziele bis 2010.

Bereits in den 1990er Jahren wurde eine Reihe von Studien zur energetischen Nutzung von Biomasse für die Region Berlin-Brandenburg veröffentlicht (MELF, 1997; MWMT, 1996). Eine erste Potenzialabschätzung wurde 1999 von SCHOLZ vorgelegt. Er bilanzierte das technisch und ökologisch nutzbare Potenzial des Bioenergieanbaus in Brandenburg auf 39,6 PJ (zum Vergleich: 2003 wurde in Brandenburg Treibstoff mit einem Energieäquivalent von etwa 34 PJ verbraucht). Den im Jahr 2010 aus Bioenergie gedeckten Primärenergieanteil bezifferte er auf 8,5 %. Inzwischen wird klar, dass das Bioenergiepotenzial zu hoch eingeschätzt wurde. 2003 belief sich der Anteil der aus Biomasse erzeugten Energie am Primärenergieanteil auf lediglich 4 %. Das Ziel der Landesregierung Brandenburgs sieht einen Anteil aller erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch von 5,3 % bis 2010 vor (mit Schwerpunkt Biomasse) (BLUV(b), 2008). Ein Grund dafür ist, dass SCHOLZ (1999) von einer maßgeblichen Nutzung von Stilllegungsflächen zur Biomasseproduktion ausgeht. BLUV(a) (2008) weist aber darauf hin, dass aufgrund der natürlichen Ertragsbedingungen in Brandenburg der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf diesen Flächen nur sehr bedingt möglich ist. Vor allem ist die Ausweitung des Rapsanbaus aufgrund der Restriktionen der natürlichen Standortbedingungen und erforderlicher Fruchtfolgen ausgeschlossen.

Die wohl umfangreichste und aktuellste Studie zur Potenzialabschätzung der Bioenergieproduktion in Brandenburg haben PIORR et al. (2007) vorgelegt. Ihr modellbasierter Ansatz geht von konventioneller Landwirtschaft, guter fachlicher Praxis, nachhaltigen Fruchtfolgen auf momentan bewirtschafteten Flächen und der Berücksichtigung von CO<sub>2</sub>-Bilanzen aus.



Abbildung 8.2 Ist-Zustand des Flächenbedarfs für den Biomasseanbau in Brandenburg. Quelle: UCKERT et al., 2007



Abbildung 8.3 Flächenbedarf in 2010 für den Biomasseanbau in Brandenburg. Quelle: UCKERT et al., 2007

## Biodiesel

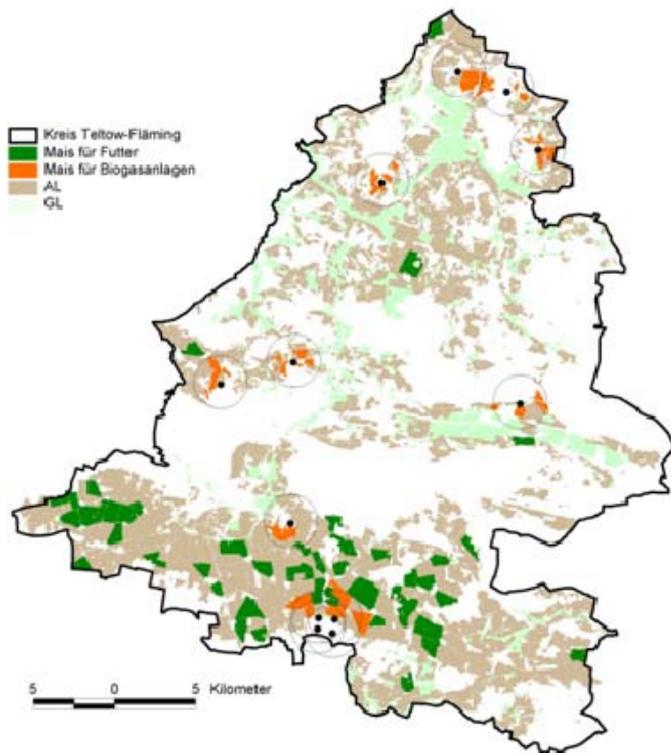
Die Biodieselproduktion auf Rapsbasis unter Berücksichtigung der Fruchtfolgebestimmungen, Bodengüte und nachhaltiger konventioneller Bewirtschaftung, führt ihren Berechnungen zufolge zu einem Potenzial von 5,8 % der im Jahr 2003 nachgefragten Dieselmenge in Brandenburg (2,2 PJ). Bei extensiver Bewirtschaftung auf Böden mit einem Produktivitätsindex >30 und einem maximalen Ackerflächenanteil von knapp 14 % mit Fruchtfolgen, ließe sich das Potenzial bis auf fast 12 % der im Jahr 2003 in Brandenburg nachgefragten Dieselmenge steigern (4,5 PJ).

## Biogas

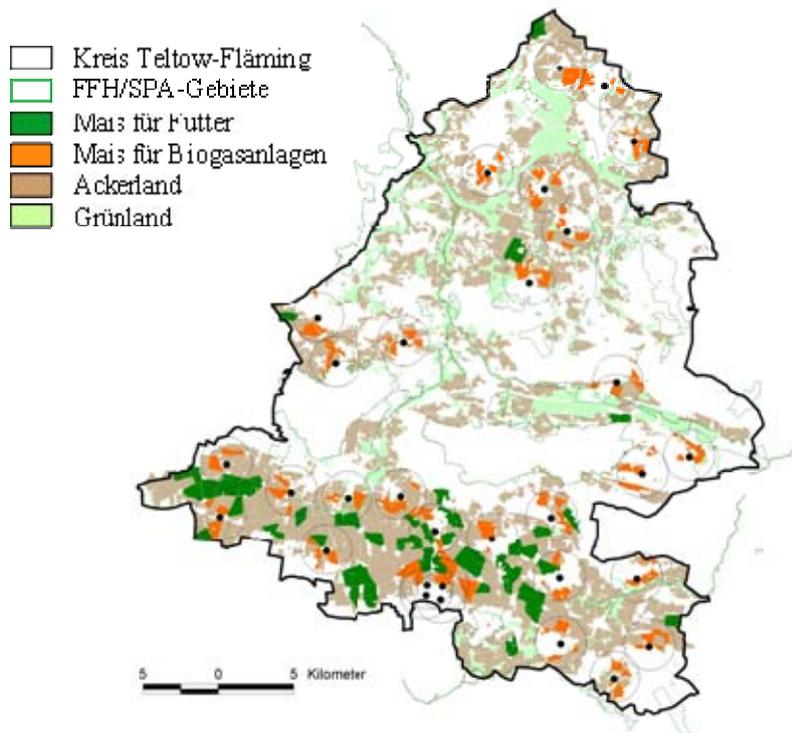
Die Biogasproduktion erlebt seit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) einen wahren Boom. Ausgehend von dem derzeitigen Entwicklungsstand geht HÖHNE (2006) davon aus, dass die Biogasproduktion in Brandenburg bis 2010 75 MW betragen wird. Dies entspricht ungefähr 175 Biogasanlagen. Basierend auf dem Potenzial von Mais, Roggen und tierischen Exkrementen könnten in Brandenburg 324 Biogasanlagen installiert werden, die circa 400.000 Zwei-Personen-Haushalte versorgen – in etwa also gut ein Drittel aller Einwohner des Bundeslandes. Um ungefähr 425.000 t pro Jahr verringerte sich alleine dadurch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Bei der Konvertierung von Biogas in Flüssigtreibstoff würde sich diese Menge gar verdoppeln. Zusätzlich dazu könnten etwa 5 % der genannten Haushalte mit Wärme aus den Biogaskraftwerken beliefert werden. Bei der Umwandlung in Flüssigtreibstoff könnten 263 Mio. Liter Treibstoff ersetzt werden. Dies entspricht annähernd 25 % der 2003 in Brandenburg verbrauchten Menge an Treibstoff und einem Energieäquivalent von circa 12,6 PJ.

Der starke Anstieg der Biogasproduktion führt aber auch zu zunehmend veränderter Flächennutzung und den weiter oben beschriebenen Konflikten hinsichtlich Flächenbedarf, Natur- und Umweltschutz und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Kulturlandschaft. Für den Landkreis Teltow-Fläming zeigen UCKERT et al. (2007) die zu erwartenden Änderungen der Flächennutzung bei Realisierung der Anbauziele des Nutzungspfades Biogas bis 2010 sowie 2020. Für die Kulturlandschaft folgern sie aus dem verstärkten Anbau von Mais als Monokultur in zweigliedriger Fruchtfolge sowie der erneuten Nutzung von Stilllegungsflächen den Verlust von Nutzungs-, Struktur- und Artenvielfalt.

Die *Abbildungen 8.4 und 8.5* zeigen, welche Flächenansprüche für Silomais sich durch die Realisierung der Anbauziele bis 2010 bzw. 2020 auf regionaler Ebene ergeben. Das den Darstellungen zugrunde liegende Szenario ist als Extremszenario zu verstehen, da es z. B. in dem Fall einer alleinigen Produktion von Biomasse für eine installierte Biogasanlage zu einem Anteil von 70 % einer Kulturart innerhalb einer Fruchtfolge kommen kann.



**Abbildung 8.4** Flächenanteile des Silomaisanbaus bei Realisierung des Ausbauziels für Bioenergie durch Biogasanlagen bis 2010<sup>29</sup>. Quelle: UCKERT et al., 2007

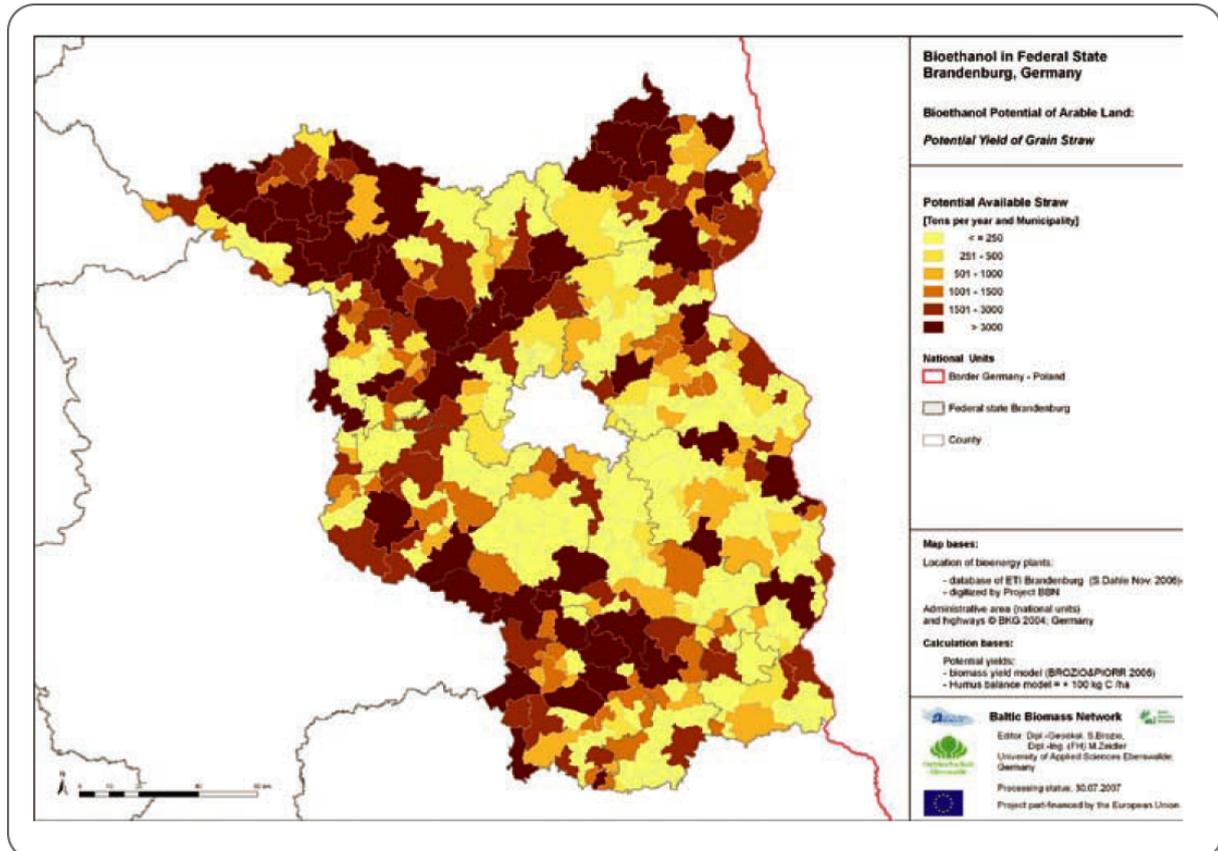


**Abbildung 8.5** Flächenanteile des Silomaisanbaus bei Realisierung des Ausbauziels für Bioenergie durch Biogasanlagen bis 2020<sup>30</sup>. Quelle: UCKERT et al., 2007

<sup>29</sup> Fiktive Verteilung der Maisfläche

## Ethanol

Bioethanol aus Zellulose ist ein Flüssigtreibstoff, der aus landwirtschaftlichen Restprodukten wie Getreidestroh oder aus Ganzpflanzen gewonnen wird. Ohne den Anteil der Biomasse, der als Futtermittel verwendet wird und zur Humusreproduktion notwendig ist, berechnen PIORR et al. 810.000 t aus Winterroggen, Winterweizen und Triticale geerntete Biomasse. Zur tatsächlichen Bioethanolherstellung könnte davon knapp ein Sechstel genutzt werden und etwa 10 % der in 2003 in Brandenburg nachgefragten Menge an Benzin ersetzen. Für die Produktion von Bioethanol aus Ganzpflanzen zeigt *Abbildung 8.6* besonders geeignete Standorte der Region.



**Abbildung 8.6** Bioethanolpotenzial für das Bundesland Brandenburg. Vorhandene Halmmasse minus des notwendigen Anteils zur Humusreproduktion, Tierfütterung und -streuung. Quelle: PIORR et al., 2007

## 8.2 Kurzumtriebsplantagen als neuer Produktionszweig

Holz stellt den Hauptanteil der Festbrennstoffe, welche zu mehr als 80 % (2007: 84,2 TWh) an der Kraft- und Wärmeerzeugung der Biomasse als erneuerbarer Energieträger beteiligt sind (NITSCH 2008). Der klimapolitisch motivierte Ausbau führte zu Zuwächsen in den letzten Jahren (8 % im Jahr 2007). Die Entwicklungen in den Bereichen Strom, Wärme und der Kraftstoffe der 2. Generation lassen einen weiteren Anstieg der Holznachfrage erwarten (NITSCH 2008). Allerdings sind teilweise auf regionaler Ebene (z. B. in Brandenburg) die verfügbaren Waldholzpotenziale schon ausgeschöpft, so dass eine Angebotserhöhung durch Agrarholz notwendig würde. Der Vergleich der benötigten Dendromasse mit den verfügbaren Potenzialen im DENDROM-Projekt zeigt, dass keines der verwendeten drei Szenarien die Möglichkeit bietet, die aktuelle Verarbeitungskapazität langfristig abzudecken (MUCHIN et al., 2008). Wenn die Biomasseanlagen in Brandenburg zukünftig mit ausreichend Brennstoff versorgt werden sollen, dann müssen Maßnahmen zur Angebotserhöhung ergriffen werden. Das gilt insbesondere, wenn die BtL-Anlage der Firma Choren Industries wie geplant in Schwedt realisiert würde (siehe auch ADAM et al., 2007; ARETZ & HIRSCHL, 2008).

Die Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten, i. d. R. Pappel oder Weide, in kurzen Umtriebszeiten stellt eine extensive Form der Landnutzung dar, die mit Blick auf den Klimaschutz und die aktuelle Entwicklung der Preise für fossile Energieträger zunehmend interessant erscheint.

Das Klima selbst – und hier insbesondere die Verteilung und Summe der Niederschläge – stellt eine primäre Bestimmungsgröße für die landwirtschaftliche Produktivität dar. Von daher ist die Anpassung der Landwirtschaft an zunehmend trockenere Verhältnisse von großem wirtschaftlichem Interesse. Zur Stützung der Ertragssicherheit aber auch der ökologischen Stabilität, ist es erforderlich, Strategien zur effizienteren Ausnutzung der vorhandenen Wasserkapazitäten zu entwickeln. Neben der Züchtung und Bereitstellung von trockenheitsresistenteren, schnellwachsenden Gehölzen für Agroforstsysteme können z. B. Maßnahmen, die zu einer Verbesserung des Kleinklimas führen, in regionale Planungs- und Entwicklungsprozesse integriert werden. Streifenförmige Agroforstsysteme („alley cropping“)<sup>31</sup> können hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten (GRÜNEWALD et al., 2005). So wirken Beschattung und Windschutz durch Heckenstrukturen während längerer Trockenperioden der Austrocknung des Bodens entgegen und mildern so potenzielle Temperaturextreme ab.

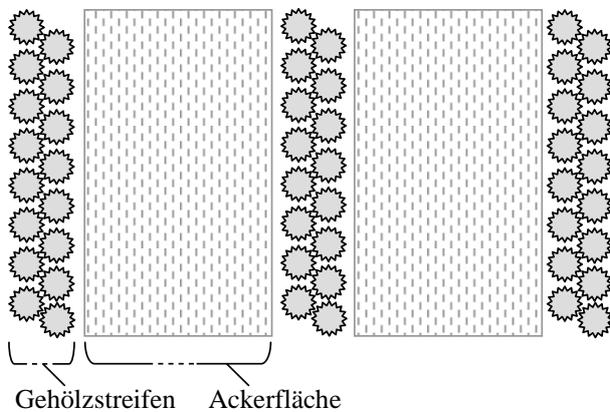
---

<sup>31</sup> Beim Alley-Cropping handelt es sich um ein Agroforstsystem, bei dem holzartige Pflanzen in Heckenstrukturen angepflanzt und landwirtschaftliche Kulturen auf den dazwischen befindlichen Ackerstreifen angebaut werden



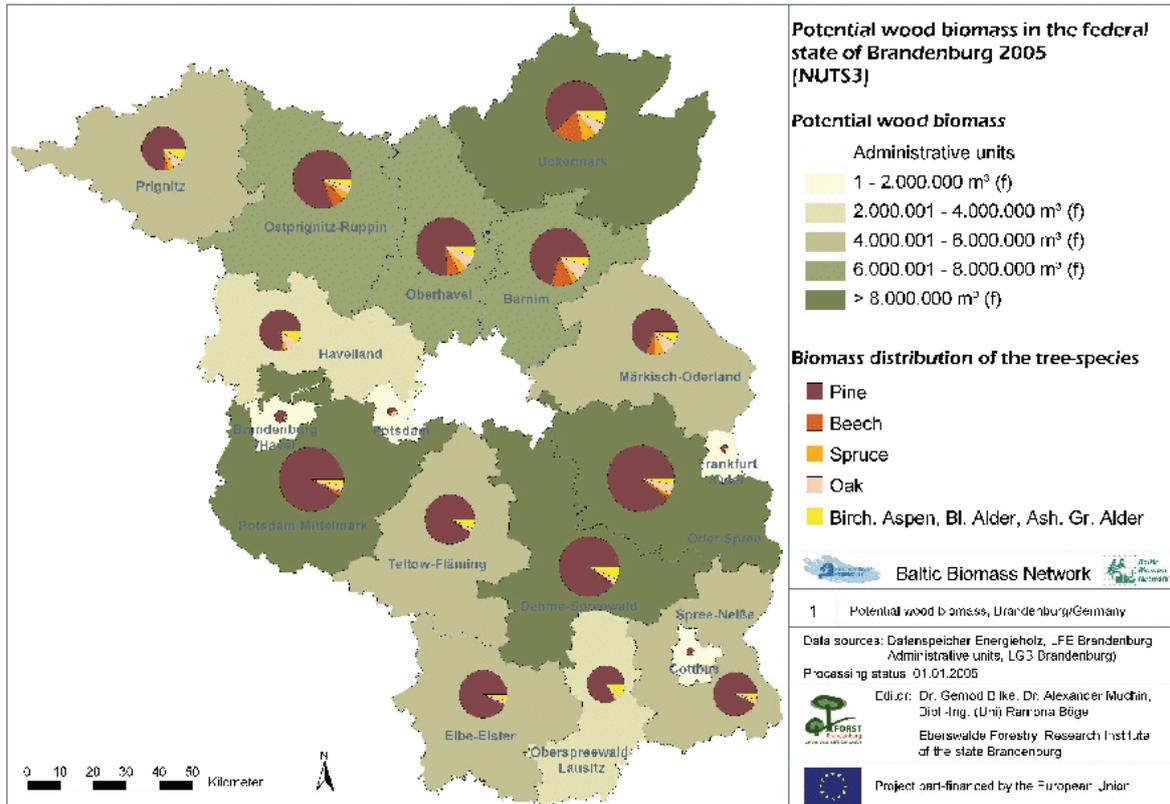
**Abbildung 8.7** Anbauversuch der Berliner Stadtgüter GmbH mit Weiden und Pappeln auf ehemaligen Rieselfeldern in Großbeeren. Quelle: Dosch 4.9.2008

Biomasse aus Kurzumtriebsbeständen kann in Form von Hackschnitzeln zur dezentralen, umweltfreundlichen Energieversorgung eingesetzt werden. Dabei sind „Feldhackschnitzel“ eine mögliche Ergänzung zu den aktuell stark nachgefragten Energieholzsortimenten aus der Forstwirtschaft oder aus der Nutzung bestehender Agroforstsysteme (z.B. Knicklandschaften (Wallhecken) als integraler Bestandteil der Agrarlandschaft in Schleswig-Holstein; METTE et al. 2001).



**Abbildung 8.8** Typisches Pflanzenschema eines Agroforstsystems als Alley-Cropping. Quelle: FREESE, BTU Cottbus.

Beim Anbau von Gehölzen auf landwirtschaftlichen Flächen stellen die Baumartenwahl und die Festlegung der Erntetechnik Schlüsselemente der Anbauverfahren dar. So ist für die Weide etablierte Erntetechnik am Markt verfügbar, an der sich das Anbauverfahren ausrichtet. Da jedoch in Brandenburg nach GRÜNEWALD et al. (2008) viele Standorte nicht für einen ertragssicheren Anbau der Weide geeignet sind, spielen hier und in weiteren Regionen Nordostdeutschlands die Baumarten Pappel und Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) – insbesondere mit Blick auf ihr Ertragspotenzial – ebenfalls eine wesentliche Rolle (PETERS et al. 2007).



**Abbildung 8.9** Potenzial an Biomasse aus Holz in Brandenburg (aus: Knur et al., 2008)

Kurzumtriebbewirtschaftung wird definiert mit Anlage (Anbau und Nutzung) von Dauerkulturen auf landwirtschaftlichen Flächen, bestockt mit schnellwachsenden, wiederausschlagfähigen Baumarten, die in kurzen Produktionszeiträumen hohe Erträge liefern. Schnellwachsende Baumarten sind durch zahlreiche, für den Anbau im Kurzumtrieb notwendige Eigenschaften gekennzeichnet:

- rasches Jugendwachstum,
- vegetative Vermehrbarkeit des Pflanzmaterials durch Steckhölzer,
- gutes Anwuchsverhalten,
- intensives Stockausschlagvermögen nach der Beerntung.

Die Umtriebszeit, d. h. der Zeitraum von Flächenanlage bzw. Neuausschlag bis zur Ernte, von 2–20 Jahren ist deutlich geringer als bei einer üblichen forstlichen Bewirtschaftung. Die schnellwachsenden Baumarten schöpfen bereits nach wenigen Jahren ihr Wuchspotenzial aus und regenerieren sich nach der Ernte über Stockausschläge oder Wurzelbrut. Mit einer Kurzumtriebsbewirtschaftung werden derzeit die Produktlinien Energieholz (Pappel, Weiden, Robinien) und Industrieholz (Aspen, Erlen, Birken für Zellstoff, Spanplatte) verfolgt. Je nach

Baumart, Standortqualität und Ernteverfahren sind Ernteintervalle von 3-10 Jahren die Regel. Bei längeren Erntezeiträumen wird der Zuwachs der Pappelarten besser genutzt. Aufgrund unterschiedlicher Wuchsrhythmen eignen sich Weiden nur für kurze (bis 4 Jahre), Balsampappeln für mittlere (bis 10 Jahre) und Aspen für längere (10-15 Jahre) Ernteabstände. Bei Erle und Robinie sind Umtriebszeiten von etwa 10 Jahren üblich.

Längere Umtriebszeiten verbessern in der Regel durch geringere Erntekostenanteile die Wirtschaftlichkeit, können durch kompensatorisches Wachstum ausgleichend auf klimabedingte Ertragsdepressionen in einzelnen Jahren wirken und sind insgesamt durch ein höheres Stammholz-zu-Rinden-Verhältnis gekennzeichnet, welches das Ascheverhalten während der Verbrennung verbessert.

Die Flächenvorbereitung erfolgt auf Ackerflächen, wie bei anderen Fruchtanbauten, durch Pflügen im Herbst vor der Pflanzung. Auf leichten, sandigen Böden ist ggf. Pflügen auch erst im Frühjahr möglich. Sollen Grün- und Brachflächen genutzt werden, müssen Grasnarbe bzw. ausdauernde Unkräuter wie Quecken oder Disteln 14 Tage vor dem Umbruch mit Herbiziden behandelt werden. Die Verwendung von Unter- oder Einsaaten wie Getreide oder Leguminosen ist nach ersten Ergebnissen unnötig oder gar hinderlich.

Wesentliche Standortansprüche sind ausreichend gute Wasserverfügbarkeit (mind. 500 mm Jahresniederschlag, davon mind. 300 in der Vegetationsperiode, vgl. TEXTOR et al. 2007, MURN 2007), gute Durchwurzelbarkeit, Befahrbarkeit, ausreichendes Nährstoffangebot (FEGGER & PETZOLD, 2005).

Die Pflanzung der Stecklinge und wurzelnackten Pflanzen kann maschinell oder manuell erfolgen. Die Kosten für das Pflanzgut nehmen neben den Erntekosten den größten Anteil an den Gesamtkosten ein. Die Pflanzverbände werden vor allem von der Ernte- und Pflegetechnik bestimmt. Zur Begründung von Mini-Rotationen (2–3jähriger Umtrieb) empfiehlt man Bestandsdichten von etwa 16.000–20.000 Steckhölzern pro Hektar. Bei mittleren Umtriebszeiten (4–6 Jahre) sollte eine Bestandsdichte von ca. 8.000–12.000 Pflanzen/ha gewählt werden. Plant man eine lange Rotationsdauer von 8–10 Jahren, sind geringe Pflanzstärken (1.800–3.300 Steckhölzer/ha) erforderlich (Sächsische Landesanstalt 2003). Bei der Etablierung einer Plantage mit 11.000 Bäumen/ha entstehen Kosten von etwa 2.200 €/ha.

Je teurer die Flächenanlage, umso besser sollte nach TEXTOR et al. (2007) das Wachstum und umso geringer das Risiko auf den Standorten sein. Zur Verringerung von Anbaurisiken wird die Pflanzung verschiedener Sorten empfohlen (blockweise Mischung; zur Sortenwahl siehe SÄCHSISCHE LANDESANSTALT 2003 oder [www.pappelforschung.de](http://www.pappelforschung.de)). Wesentlich zu den Kosten trägt auch der bei kleinen Flächengrößen empfehlenswerte Wildzaun bei (etwa 800 Euro/ha). Örtlich kann es zu deutlichen Ausfällen durch Mäuse kommen.



**Abbildung 8.10** Maschinelle Pflanzung.  
Quelle: PROBSTDORFER SAATZUCHT

### 8.2.1 Bestandespflege

Entscheidend ist ausreichende Wasserverfügbarkeit im Jahr der Pflanzung, die ggf. durch Bewässerung erreicht werden muss. Der Zeitraum 1–3 Monate nach der Pflanzung ist für die Jungbäume auch hinsichtlich von Konkurrenzvegetation besonders kritisch, in dieser Phase muß größtes Augenmerk auf unkrautfreie Bestände gelegt werden. Dafür ist bei Bedarf eine mechanische Unkrautbekämpfung notwendig. Diese Maßnahme zusammen mit der Bodenvorbereitung entscheidet wesentlich über den Erfolg der Anpflanzung.

Bei extremer Frühjahrstrockenheit ist auf zu starker Austrocknung neigenden Standorten im ersten Jahr nach der Bestandesbegründung eine Bewässerung sinnvoll. Die Pflegemaßnahmen in Kurzumtriebsplantagen beschränken sich im Wesentlichen auf das erste und zweite Standjahr. In den Folgejahren ist eine extensive Bestandesführung möglich, d. h. es sind in der Regel keine Pflegeeingriffe oder Bewässerung mehr nötig. Eine Expertenbefragung von PALLAST (2005) ergab für Weiden auf Ackerflächen, dass nach vorherrschender Meinung keine Stickstoffdüngung notwendig ist. Demgegenüber empfiehlt die SÄCHSISCHE LANDESANSTALT (2003, 24 ff.) generell eine Düngung von 180 kg N/ha, 29 kg P/ha und 125 kg K/ha pro Umtrieb.



**Abbildung 8.11** Mechanische Unkrautbehandlung zwischen den Reihen. Quelle: MAYER 2007

### 8.2.2 Ertragsmodellierung und Vorzugsstandorte in Brandenburg

Besonders der wechselseitige Einfluss der Faktoren Niederschlag, Wasserhaltekapazität und Grundwasserstand, die erst im Zusammenspiel über die Wasserversorgung der Pflanzen entscheiden, führt dazu, dass Vorhersagen mit großen Unsicherheiten behaftet und die Ergebnisse von Versuchsanbauten nur schwer übertragbar sind.

Die Erträge schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb fußen gegenwärtig noch vorrangig auf Untersuchungen im Versuchs- und Pilotmaßstab. Die Übertragbarkeit auf den großflächigen Anbau in der Praxis verlangt somit gewisse Korrekturen. Praktisch wurden nach ADAM et al. (2007) 2005 in Brandenburg 203 ha für Agrarholzanbau genutzt. Darunter werden überwiegend Versuchsstandorte mit 1-2 ha summiert, wie z. B. die Sortenversuche des BIODEM Projekts ([www.biodem.de](http://www.biodem.de)). Größere Anlagen mit Demonstrationscharakter für Technik, Logistik und Erträge fehlen bisher. Die in Sachsen geprüften Balsampappelklone erzielten im Durchschnitt zweier dreijähriger Umtriebe einen jährlichen Zuwachs von 12,1 t

TM/ha. Eine sehr hohe Ertragsleistung ist bei der Weidensorte „Zieverich“ festzustellen. In einem zweimalig durchgeführten dreijährigen Umtrieb wurden jeweils 18 t TM/ha\*a Zuwachs nachgewiesen (Röhrich et al., 2002). Auf einem rekultivierten Kippenboden (Standort Welzow – Süd, Lausitz) konnte ein Ertrag von 4,5 t TM/ha\*a (dreijähriger Umtrieb) im Durchschnitt der geprüften Pappelsorten erzielt werden. Auf Sandböden in Sachsen konnte im Mittel von drei Rotationen ein jährlicher Ertrag von 10 t TM/ha mit Weiden (*Salix viminalis*) nachgewiesen werden (BOELCKE, 2001).

Im Rahmen des Projektes AGROWOOD wurde 2007 eine Kurzumtriebsplantage auf sehr trockenen und armen Böden in der Brandenburger Lausitz geerntet und brachte bei den Baumarten Pappel, Weide und Robinie einen Ertrag von nur 2,0 bis 4,3 t TM/ha\*a.

In einem zweistufigen Untersuchungsansatz wurden von MURACH et al. (2008b) standortabhängige Ertragsfunktionen für Pappel und Weide generiert und standörtliche Flächenpotenziale für den Agrarholzanbau in Brandenburg mithilfe einer GIS-Modellierung entwickelt. Die verwendeten Ertragsfunktionen nutzen das Transpirationswasserangebot (TWA) als limitierenden Faktor des Höhenwachstums. Pappel und Weide zeigen vergleichbare Erträge. Robinie ist nach bisherigen Untersuchungen auf stark nährstoffarmen und trockenen Standorten der Weide und Pappel überlegen. Pappeln und Weiden haben Potenziale auf Böden mit Ackerzahlen unter 35, das entspricht den Landbaugebieten (LBG) III bis V in Brandenburg (LVL 2005), wo sie im Gegensatz zu den Ackerkulturen aufgrund ihrer tieferen Senkerwurzeln die Möglichkeit haben, vom Grundwasser zu profitieren. Weide hat einen höheren Wasseranspruch, weshalb für Brandenburg mit max. 18 t gerechnet wird. Dabei werden in dieser Untersuchung 5 dm Wurzelraum für Ackerkulturen und 25 dm Wurzelraum für Gehölze angenommen. Die Vorzugsstandorte liegen vor allem nordwestlich von Berlin und den südöstlichen Randregionen (Elbe-Elster und Lausitz) Brandenburgs: „Deutliche Agrarholzvorzugsstandorte lassen sich im Bereich des Oderbruchs, aber auch im Südwesten und im Westen des Landes ausmachen. Das TWA wird dort überall vom oberflächennahen Grundwasser dominiert. Bereiche mit mittlerem TWA liegen z. B. im Süden der Landkreise Teltow-Fläming und Potsdam-Mittelmark und werden von sandigen Schluff- und mittel bis stark lehmigen Sandböden sowie Niederschlägen in der Vegetationszeit über 200 mm bestimmt. Sandböden weisen bei den geringen Niederschlägen in Brandenburg auch die geringsten TWA-Werte und somit auch die geringsten Erträge auf“ (MURN 2008: 43). Ist der Grundwasserspiegel auch für Agrarholz nicht erreichbar, wird davon ausgegangen, dass Agrarholz gegenüber Ackerkulturen nicht konkurrenzfähig ist. Vom standörtlichen Potenzial aus betrachtet, lohnt sich der Agrarholzanbau mit Pappel und Weide also nur auf nährstoffärmeren Böden mit Grundwasseranschluss. Hier sind nach MURACH et al. (2008b) bei optimalen Bedingungen und einem Pflanzverband zwischen 5.000 und 10.000 Pflanzen pro ha für Pappeln Erträge von bis zu 15 t TM/ha\*a zu erwarten. Als Richtwert für grundwasserferne schwachhumose, schwachlehmige Sandböden in Brandenburg mit einer Bodenzahl um 30 und durchschnittlichen Jahresniederschlägen von etwa 480 mm (das entspricht einem TWA von etwa 250 mm) kann nach den Ergebnissen auf Versuchsflächen des ATB Potsdam für Pappeln bei einer Pflanzenzahl von ca. 12.000 Stück pro ha und Umtriebszeiten unter 5 Jahren von etwa 10 t TM/ha\*a ausgegangen werden (SCHOLZ et al., 2004). Hohe Erträge werden für grundwasser-nahe Standorte bw. von Boelcke (2006), Roehle et al. (2006) und WERNER et al. (2006) bestätigt. Bei einem TWA unter 250 mm ist vom Agrarholzanbau mit Pappeln und Weiden abzuraten. Vom standörtlichen Potenzial her betrachtet, kann der Agrarholzanbau gerade auf grundwasserbeeinflussten nährstoffärmeren Standorten in der Wuchsleistung landwirtschaftlichen Kulturen überlegen sein. Robinie stellt geringe Ansprüche an die Wasser- und N-Versorgung und läßt Erträge bis 8 t/ha erwarten. In den ermittelten Vorzugsgebieten ließen

sich nach MURACH et al. (2008a) jährlich nach den zugrunde liegenden Ertragsfunktionen etwa zwei Mio. Tonnen Dendromasse produzieren, was rund 1 Mio. MWh Strom oder 40 PJ Energie entspricht.

GRUNDMANN & EBERTS (2008) haben die Verfahrenskosten und Gewinne verschiedener Anbauverfahren (Weizen, Roggen, Weiden und Pappelgehölze) auf Ackerstandorten verglichen. Bei den Kosten schneidet Energieholz wesentlich besser ab als einjährige Kulturen. Einsparpotenziale bestehen bei der Pflanz- und Erntetechnik. Ab TWA 350 wird der Gewinnbeitrag von Roggen und ab TWA 450 der von Winterweizen durch die Gehölze (je nach Ernteverfahren) erreicht. In der Modellierung mit einem regionalen Betriebstypenmodell lagen die Durchschnittserträge zwischen 10 t (hohe AZ, mittleres TWA) und bis zu 19 t (niedrige AZ, hohes TWA). Das eingesetzte Kapital erreicht nach ca. 10-15 Jahren eine Amortisierung (weitere Daten finden sich unter [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)).

Maßnahme	geringe Kosten [€/ha]	hohe Kosten [€/ha]
Gesamtkosten	1567	4101
1. Pflügen und Eggen (einmalig)	47	125
2. Herbizid- und Vorauflaufmittelbehandlung (einmalig)	41	80
3. Pflanzung ohne Nachbesserung (11.000 Stck./ha)	200	562
4. Stecklinge (Materialkosten) 11.000 St. à 0,08 oder 0,22 €	880	2419
5. Ernte und Hacken (nach jeder Rotation)	112	517
6. Mulchen (nach jeder Rotation)	18	18
7. Transport (nach jeder Rotation)	69	240
8. Rodung (einmalig bei Ende der Nutzungsdauer; inkl. Arbeitskosten)	200	140

**Abbildung 8.12** Vergleich von Verfahrenskosten. Quelle: [www.agrowood.de](http://www.agrowood.de) 10.10.2008

Grundsätzlich ist zu bedenken, dass die Leistungen von Kurzumtriebsbeständen in Abhängigkeit von Baumart/Klon, Alter, Rotationszyklus, Bestandsdichte, Standort und Klima stark variieren. Deshalb kann nur bei genauer Beschreibung des geplanten Anbaus eine belastbare Ertragschätzung erfolgen. Landwirtschaftliche Grenzertragsstandorte mit schlechter Wasser- und Nährstoffversorgung lassen prinzipiell unterdurchschnittliche Ertragsleistungen erwarten (egal welche Pflanzen angebaut werden). Standorte mit zusätzlicher Spätfrostgefahr können zu weiteren Ertragseinbußen führen. Auf Standorten, die nur geringe Dendromasseerträge erwarten lassen, versprechen nur geringe Investitions- und Bewirtschaftungskosten einen positiven Gewinnbeitrag. Derzeit kann mit einem Erlös von etwa 65 € je Tonne Trockensubstanz ( $t_{atro}$ ) für Hackschnitzel gerechnet werden. Für Standorte wie Rieselfelder empfiehlt sich daher zunächst ein Modellversuch in kleinem Maßstab, wenn über den Schlag keine bisherigen Ertragswerte vorliegen. Bei dem Versuch, langfristige Klimaveränderungen in die Ertragschätzung einzubeziehen, kommen die Experten im Agrowood-Projekt zu dem Ergebnis, dass „im Durchschnitt alle 4 Jahre mit einem extrem trockenen Jahr und damit verbundenen Zuwachsausfällen gerechnet werden muss.“ ([www.agrowood.de](http://www.agrowood.de))

	TWA 250	TWA 350	TWA 500
Pappeln AM	-206	67	355
Weide AM	-44	138	415
Weide FH	-105	77	354
Weide Ruten	24	216	498

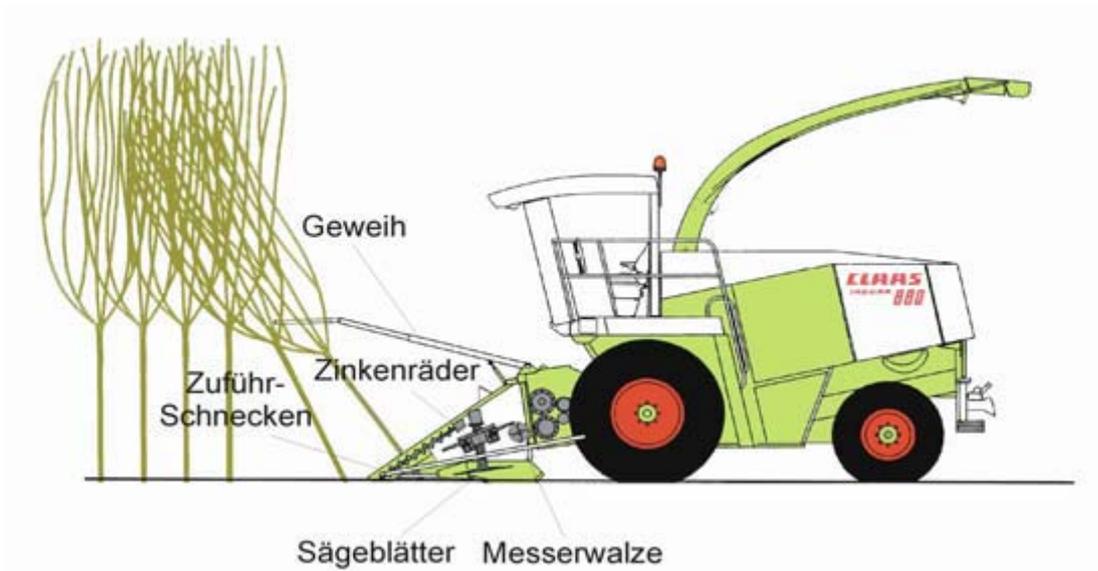
**Abbildung 8.13** Durchschnittliche Gewinnbeiträge des Agrarholzanbaus in € pro ha und Jahr (aus Grundmann/Everts 2008); TWA: Transpirationswasserangebot; AM: Anbau-Mähacker; FH: Feldhäcksler

	Weide AM
Bodenbearbeitung	8
Pflanzung	188
Pflanzenschutz	4
Düngung	27
Ernte	145
Roden	14
Flächenkosten	101
Summe	487

**Abbildung 8.14** Kosten beim Anbau von Agrarholz nach Arbeitsschritten in € pro ha und Jahr (aus Grundmann/Everts 2008)

### 8.2.3 Ernte und Rekultivierung

Nach bisherigen Erfahrungen mit der Bewirtschaftung von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb ist davon auszugehen, dass 5-7 Umtriebszeiten von 3–4 jähriger Dauer erreicht werden können, die Fläche also nach 15 bis 30 Jahren für andere Nutzungsformen oder die Wiederanlage einer Pappelkurzumtriebsfläche zur Disposition steht. Die dann erforderlich werdende Rekultivierung kann jedoch bereits vor Ablauf dieses Zeitraums notwendig sein, beispielsweise wenn die Fläche für den Anbau annueller landwirtschaftlicher Kulturen benötigt wird oder wenn züchterische Fortschritte eine vorgezogene Neubegründung des Pappelbestandes sinnvoll erscheinen lassen. Die Möglichkeit der Rückkehr zur traditionellen landwirtschaftlichen Produktion erlaubt dem Landwirt ein hohes Maß an wirtschaftlicher Flexibilität. Die Rekultivierung wird mittels Stockfräse oder Forstmulcher (im Lohneinsatz) vorgenommen. Die während der Umtriebszeiten in den Wurzelstöcken zunehmend gebundene CO<sub>2</sub>-Menge (Sequestrierung) wird so langfristig wieder freigesetzt.



**Abbildung 8.15** Erntetechnik Claas Jaguar mit Salix Vorsatz (alternativ italienischer Vorsatz). Quelle: CLAAS



**Abbildung 8.16** Vollmechanische Ernte, Österreichische Bundesforste AG

#### 8.2.4 Ökologische Effekte der Energiewaldwirtschaft

Die Artenvielfalt von Flora und Fauna nimmt im Vergleich zu landwirtschaftlichen Kulturen zu. Die vegetationskundlichen Aufnahmen auf den Energiewald-Versuchsflächen der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft ergaben bis zu zehnmal mehr Arten als auf den angrenzenden Äckern. Bis zu 110 Arten wurden in der Begleitvegetation gefunden. Energiewaldanpflanzungen bewirken v. a. bei geländeangepasster Ausformung und zusätzli-

cher Waldrandgestaltung (Anpflanzung von Hecken) eine Zunahme der Strukturvielfalt in der freien Landschaft.

Durch Filtrierung des Niederschlagswassers verbessern Kurzumtriebswälder die Sickerwasser- und somit die Grundwasserqualität. Auch der weitgehende Verzicht auf den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln ist förderlich für die Qualität des Oberflächenwassers. Energieholzplantagen erfüllen daher die Voraussetzungen zum Anbau in Trinkwassereinzugsgebieten. Eine Bodenverbesserung wird durch Humusanreicherung im Oberboden (jährlicher Laubabfall), geringere maschinelle Bodenverdichtung (vergleichsweise lange Ernteintervalle, Befahrung nur bei Frost) und natürliche Tiefenlockerung aufgrund intensiver Durchwurzelung erreicht. Von Bedeutung ist auch der Erosionsschutz in Hanglagen bzw. Windschutz für angrenzende Kulturen (vgl. alley-cropping).

Die Kohlenstoff-Flüsse der Pappel-KUP wurden im Agrowood-Projekt mit denen von drei Vergleichskulturen (Fichtenbestand, Wiese, Acker) ins Verhältnis gesetzt. Im Ergebnis erreichte die Netto-Ökosystemproduktion von älteren Pappelplantagen die gleiche Größenordnung wie Forste und naturnahe Wälder und kann die anderer landwirtschaftlicher Kulturen übertreffen. Pappelplantagen, die auf bisher ackerbaulich genutzten Böden angelegt wurden, sorgen für eine Zunahme der Kohlenstoff-Speicherung im Boden und verursachen vergleichsweise geringe Emissionen von Treibhausgasen. Sie sind hinsichtlich ihrer Klimaschutzfunktion durch die frühzeitig mögliche Substitution fossiler Energieträger Aufforstungen deutlich überlegen (Rock 2008).

Negative Auswirkungen auf die Biodiversität wären zu befürchten bei

- Intensivierung der Produktion
- Anbau invasiver Arten
- Anbau gebietsfremder Arten
- Umbruch von Grünland
- Anbau auf Brach- und Stilllegungsflächen und dem
- großflächigen Anbau von Kurzumtriebsplantagen aus nur einer Gehölzart.

### 8.2.5 Fazit

Im Dendrom-Projekt kommt die ökonomische Expertise zu dem Fazit, „dass Kurzumtriebsholz aufgrund seiner geringen Produktionskosten eine interessante wirtschaftliche Alternative zu annuellen landwirtschaftlichen Kulturen darstellt. Der Anbau von Kurzumtriebsholz ist auf Flächen mit Bodenwertzahlen unterhalb von 30 Bodenpunkten und bei gleichzeitig guter Wasserversorgung besonders wettbewerbsstark.“ (GRUNDMANN & EWERT 2008). Auf Standorten, die nur geringe Dendromasse-Erträge erwarten lassen, versprechen nur geringe Investitions- und Bewirtschaftungskosten einen positiven Gewinnbeitrag. Derzeit kann mit einem Erlös von etwa 65 € je Tonne Trockensubstanz ( $t_{atro}$ ) für Hackschnitzel gerechnet werden. Daraus lässt sich ableiten, dass der Anbau von Energieholz eine Nutzungsoption für bestimmte ehemalige Rieselfelder darstellt, die ökonomisch gleichwertig und naturschutzfachlich vorteilhafter als die derzeitige Nutzung sein kann. Dabei gilt es u. a. zu prüfen, ob die Flächeneignung durch Bedarfsbewässerung mit Klarwasser aus nahen Klärwerken erhöht werden kann.



**Abbildung 8.17** Anbauversuch der Berliner Stadtgüter GmbH mit Weiden und Pappeln auf ehemaligen Rieselfeldern in Großbeeren. Quelle: Dosch 4.9.2008

### **8.3 Modellrechnungen zur Biogasproduktion auf einem Betrieb der Berliner Stadtgüter**

#### **8.3.1 Ableitung der benötigten, anteiligen Biogasanlagenleistung zur Erreichung der politischen Ausbauziele (MESEBERG 2007)**

Im folgenden Kapitel werden zunächst Vorüberlegungen dargestellt, die getroffen wurden, um den anteiligen Beitrag zu ermitteln, den die Berliner Stadtgüter leisten müssten, um die politischen Ausbauziele der Bundesregierung durch die Produktion von Biogas zu erreichen. Dabei werden zunächst die benötigte Bioenergiebereitstellung sowie die daraus resultierende Flächennutzung für die Berliner Stadtgüter bei der betrieblichen Integration einer Biogasproduktion anteilmäßig abgeschätzt. Darauf aufbauend wird mittels des in Kap 5.3 beschriebenen Modells dargestellt, welche Änderungen der Flächennutzung sich bei Betrachtung der dort beschriebenen Szenarien ergeben würden (Modellvalidierung).

### Schritt 1: Anteil des Biogaspfades an der Erreichung der Ausbauziele für Strom, Wärme und Treibstoff

Die landwirtschaftliche Produktion von Biogas aus Reststoffen oder Energiepflanzen kann einen Beitrag zur regenerativen Energieerzeugung (RE) leisten. Zum einen über seine Verwertung in Blockheizkraftwerken (BHKW) (Wärme und Strom) und zum anderen über seine Umwandlung zu Treibstoff (z. B. Aufbereitung von Biogas für Gastankstellen). In folgender Abbildung 8.18 wird der theoretisch erforderliche Biogasbedarf in Deutschland aus den RE-Zielen abgeleitet. Dabei wird eine Fortschreibung des Energieverbrauchs von 2005 sowie der Anteile der einzelnen Energieträger an der Bioenergieproduktion im Jahre 2007 angesetzt. Schließlich werden die prozentualen Ziele der Bundesregierung in zu erfüllende Mengen an Energieeinheiten ausgedrückt, mit aktuell technologisch erfolgreichen Biomassepfaden hinterlegt und mit Hilfe von potenziellen Ertragserwartungen auf die Fläche heruntergebrochen. Auf der Basis dieser Ertragserwartungen wurden anhand der Verteilung von Ertragsklassen in Brandenburg Annahmen zu durchschnittlichen Energieerträgen (Methanhektarerträge) innerhalb eines Landnutzungssystems (maislastige Fruchtfolgen) getroffen, um die Flächenauswirkungen der politischen Ziele in den Jahren 2010 und 2020 abzuschätzen.

<b>Strombereitstellung aus Biogas</b>		<b>2010</b>	<b>2020</b>
Stromverbrauch D 2005	Mrd. kWh/a	520	520
Ausbauziel: Anteil EE an Strombereitstellung	%	12,5	27,0
Anteil Biomasse an EE (mit Anstieg Biomasseanteil)	%	25,0	30,0
fix: davon Anteil durch Biogas	%	41	41
Anteil Biogas am Stromverbrauch D	%	1,3	3,3
Ziel Stromproduktion aus Biogas in D	GWh/a	18.574	40.120
benötigte Anzahl 500 kW Anlagen für D	Anzahl BA	1.960	5.079
benötigte Fläche in D	T ha	505	1.310
LF D	Mio ha	17	
AF D	Mio ha	12	
durchschnittlicher Flächenbedarf je BA	ha	258	258
<b>benötigter Flächenanteil (AF) Strom</b>	<b>%</b>	<b>4,2</b>	<b>10,9</b>
<b>Biogas als Treibstoff</b>			
Anteil EE an Kraftstoffverbrauch	%	6,75	17
Aus Biogas zu ersetzender Kraftstoff Benzin (2005)	Mio l/a	2.011	5.065
benötigte Anzahl 250 m <sup>3</sup> /h Anlagen		1.701	4.284
Methanproduktion pro ha (Durchschnitt über Böden und FF)	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha	4.849	4.849
benötigte ha für Methanmenge in D	ha	423.227	1.065.906
durchschnittlicher Flächenbedarf je BA	ha	249	249
<b>benötigter Anteil Fläche (AF) Benzin</b>	<b>%</b>	<b>3,5</b>	<b>8,9</b>
<b>Flächenanteil (AF) Gesamt</b>	<b>%</b>	<b>7,7</b>	<b>19,8</b>

**Abbildung 8.18** Biogasbereitstellung für Strom und Benzin und deren Auswirkungen auf die Flächenanteile. Quelle: Eigene Berechnungen aus BBR-Endbericht (UCKERT et al. 2007)

**Wärme aus Biogas:**

Durch eine vollständige Wärmenutzung der im Jahr 2020 zielentsprechend installierten Biogas-BHKW könnten 23,5 Mrd. kWh (bei ca. 45 % nutzbarer Abwärme) bereitgestellt werden. Das bedeutet, 11,3 % (von ca. 27 %) vom Ausbauziel „Wärme“ könnten allein durch die Abwärme der 5.079 Biogasanlagen (BHKW à 500 kW<sub>el</sub>) aus dem Nutzungspfad „Strom aus Biogas“ zur Verfügung gestellt werden.

**Schritt 2: Anteil des Modellbetriebs an der Erreichung der Ausbauziele für Strom (Wärme und Treibstoff)**

Der Modellbetrieb betreibt zurzeit ein BHKW mit einer Leistung von 400 kW<sub>el</sub>. Ein zweites ist fertig gestellt und ein drittes Modul á 400 kW<sub>el</sub> ist in Planung. Welcher Anteil an den Zielen ist damit zu erreichen?

Gewählt wurde der theoretische Ansatz, die Anlagenleistung aus den Möglichkeiten des Biogaspfads (3,3 % am RE-Strom) abzuleiten. Den politischen Zielen für 2020 entsprechend sind bis 2020 ca. 2.500.000 kW<sub>el</sub> Leistung in Deutschland zu installieren (siehe *Abbildung 8.18*). Unter der einfachen Annahme der Gleichverteilung der Anlagen über das gesamte Bundesgebiet würde die Landnutzungsfläche (LN) in Höhe von 17 Mio. ha mit einer theoretischen Anlagendichte von ca. 0,15 kW/ha LN beaufschlagt werden.

Für das Stadtgut mit einer LN-Fläche von 6779 ha könnte demnach eine Anlagenleistung von ca. 1000 kW<sub>el</sub>, die für die Erzeugung von RE-Strom benötigt würde, abgeleitet werden.

Der Betrieb verfügt aufgrund der Haltungssysteme seines Betriebszweigs „Milchproduktion“ über die Reststoffe Gülle und Stalldung. Folgende *Abbildung 8.19* erläutert die energetische Bewertung der Gülle. Im Anschluss daran kann abgeschätzt werden, wieviel weitere Energie aus pflanzlichen Kosubstraten benötigt wird, um die Biogasanlage (BHKW) auszulasten.

90.000 m <sup>3</sup> Anfall Gülle (aus 3000er Milchkuhstall mit ca. 30 m <sup>3</sup> /a)		Parameter (FNR 2006)	
kg oTS (8 %)	7.200.000	l biogas/kg oTS	290
m <sup>3</sup> Biogas (s.o.)	2.088.000	% CH <sub>4</sub>	0,58
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> (s.o.)	1.211.040	kWh/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	10
kWh (s.o.)	12.110.400	% Wirkungsgrad BHKW	0,33
kWh <sub>el</sub>	3.996.432		

**Abbildung 8.19** IST-Zustand Berechnung der Energiemenge aus Gülle bei vollständiger Nutzung. Quelle: Eigene Berechnungen nach FNR 2006 Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Gülzow.

Ergebnis: Knapp 4 Mio. kWh können aus der Rindergülle (90.000 m<sup>3</sup> mit 8 % oTS) bereitgestellt werden. Für das 7.500-Std-Auslastungs-Soll der 1000 kW<sub>el</sub> Biogasanlage von 7.500.000 kWh/a bedeutet dies, dass allein aus dem Reststoff Gülle mehr als die Hälfte der Energie gewonnen werden kann und zusätzlich ca. 3,5 Mio. kWh aus Kofermenten bereit gestellt werden müssen.

*Abbildung 8.20* gibt einen Überblick über die Auswirkungen des Kosubstrateinsatzes in der Biogasanlage auf die Flächenanteile und deren Änderungen. Für den Einsatz von Silomais als Koferment müssten ca. 90 ha zusätzlich bereitgestellt werden, bei günstigen Annahmen zum Ertrag (45 t FM/ha) und Flächenansprüchen (0,2 ha pro kW Anlagenleistung). Bei ungünstigeren Annahmen zu Methanhektarerträgen und tatsächlicher Ausnutzung in der Biogasanlage (Biogasausbeute) kann dieser Bereich mit 150-220 ha deutlich höher liegen (20%ige Ertragsschwankung zum Flächenfaktor 0,4 ha/kW).

Beispielbetrieb	Anteil Silomais (Bioenergie) ( 93 ha)		Spanne bei ungünstigen RB (150 - 220 ha)	
	ha	%	%	%
Gesamtfläche	6779	1,4	2,2	3,3
GL	845	11,1	17,7	26,5
Mais	1800	5,2	8,3	12,5
fixe Stilllegung	1000	9,3	14,9	22,4
AF	4934	1,9	3,0	4,5
Anteil Silomais an LN in %	26,6	* 27,9	28,8	29,9
Anteil Silomais an AF in %	36,5	** 38,4	39,5	41,0

\*Anteil Maisfläche inkl. Bioenergie-Erhöhung an LN  
\*\*Anteil Maisfläche inkl. Bioenergie-Erhöhung an AF

**Abbildung 8.20** Biogasanlage 1.000 kW<sub>el</sub>: Entwicklung der Flächenanteile von Silomais bei Ausdehnung der Biogasproduktion über Kofermente (NawaRo; Silomais).

Ergebnis der Abschätzung des Energiebedarfs aus Silomais für die drei Ausbaustufen der Biogasanlage auf dem Betrieb:

Für die 400-kW-Ausbaustufe der Biogasanlage (BA) wird kein zusätzliches Substrat benötigt (Überkapazität durch Gülle ca. 35 %). Für die 800-kW-BA kann die Anlage über die Gülle bis zu 70 % ausgelastet werden. Bei der 3. Ausbaustufe (1200-kW-BA) werden zusätzlich bis zu 8.000 t FM Silage benötigt.

Sollte ein zusätzlicher Beitrag des Betriebs für die Bereitstellung weiterer regenerativer Energieträger für das Treibstoff- und Wärmeziel angestrebt werden, kann aufgrund der in Schritt 1 dargestellten Überlegungen (s. Abb. 8.18) ein Ausbau der Biogasanlage auf fast das Doppelte angenommen werden. Es ist an dieser Stelle jedoch darauf hinzuweisen, dass das Stromerzeugungsziel zu mehr als 50 % auf Grundlage der energetischen Gülleverwertung erreicht wurde. Dies unterstreicht die positive Stoßrichtung der für 2009 beschlossenen EEG-Novellierung und erschließt ein Potenzial des Betriebs für einen Beitrag zum Treibstoffversorgungsziel bei insgesamt geringeren Landnutzungskonkurrenzen. Die über die einzelnen BHKW (insg. 1200 kW) entstehende Abwärme könnte bei vollständiger Nutzung eine Wärmeenergie von ca. 6 Mio. kWh bereitstellen. Dies würde den Energiebedarf von ca. 400 Einfamilienhäusern (ca. 15.000 kWh/a) decken.

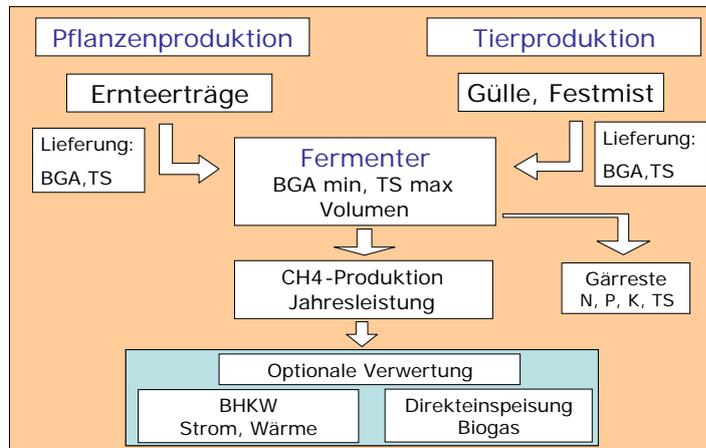
Schritt 3: Modellierung der Biogasproduktion für den Beispielbetrieb, um die entschieden höhere Komplexität der Integration einer Biogasanlage in den Betriebsablauf zu simulieren.

Nach einem kurzen Überblick über das Biogasmodul in MODAM werden die Ergebnisse zur Flächenverwertung in den verschiedenen Szenarien dargestellt. Im Unterschied zu Kap. 5.3 wurde der Betrieb hier mit einer Biogasanlage ausgestattet und gerechnet.

### 8.3.2 Aufbau und Modellstruktur des Biogasmoduls in MODAM

Der modulare Aufbau des Modellsystems MODAM führt zur Aufgliederung der Ansprüche und Lieferungen einer Biogasanlage in einzelne Teilmodule. Bauliche Anlagen sowie Arbeitsverfahren (Beschickung, Reststofflagerung), die für die Biogasproduktion notwendig sind, werden den einzelnen Kategorien der Tierhaltung zugeordnet. Der Fermenter wird analog zu den Tiergruppen in den jeweiligen Tabellen definiert (Leistung, Kosten, Nährstoffansprüche).

Die Verwertungsmöglichkeiten des erzeugten Biogases können sowohl die Verstromung in einem separaten BHKW als auch den Direktverkauf als Biogas umfassen. Einen Überblick über den Verlauf von In- und Outputs gibt folgende *Abbildung 8.21*.



**Abbildung 8.21** Aufbau des Biogasmoduls

Auf der Basis einer Schätzgleichung<sup>32</sup> werden die Biogasausbeuten berechnet, die je Einheit des Ernteproduktes produziert werden können. Das Betriebsmodell wählt aus, welche Kulturarten angebaut werden und welche Verwendung die Ernteprodukte finden. Dabei spielt die ökonomisch optimale Faktorverwertung die entscheidende Rolle, die durch das Lineare Optimierungsmodell gelenkt wird (Verkauf als Marktfrucht oder innerbetriebliche Verwertung in der Tierfütterung oder als Biogassubstrat). Die so simulierten ökonomisch optimalen Gärsubstratzusammenstellungen aus Reststoffen und Energiepflanzen berücksichtigen somit betriebliche oder auch Klimaschutzrelevante Restriktionen.

Folgende Abbildung zeigt eine Auswahl der Verfahren, welche sich über die verschiedenen Szenarien als die vorzüglichsten herausgestellt haben.

Anbau-system	KultPV	Kultur	Boden-bearbei-tung	organische Düngung	Acker-zahl 25	Acker-zahl 38
Energiepflanzen	FGR11108r1	Sudangras	pfluglos	Flüssigmist	0,11	0,10
Energiepflanzen	SMA11108r1	Silomais	pfluglos	Flüssigmist	0,14	0,11
Energiepflanzen	WRO11108r2	Winterroggen-GPS	pfluglos	Flüssigmist	0,18	0,15
Standard	SMA1208a	Silomais	pfluglos	Flüssigmist	0,23	0,17
Standard	LZS14003	Luzernegras, Silage	pflug	ohne	0,29	0,22

**Abbildung 8.22** Auswahlkriterium für angebaute Kulturen: Kennzahl „variable Kosten“ der Biogasproduktion in € je m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>

Aufgrund der Tatsache, dass die angegebenen Verfahren des Anbausystems „Energiepflanzen“ bisher noch nicht in breiter Praxis vertreten sind, wurde dem Modellbetrieb lediglich die Auswahl der Standardverfahren in Brandenburg ermöglicht. (Wie die Ergebnisse eines

<sup>32</sup> Die Biogasausbeuten der einsetzbaren Substrate pflanzlichen Ursprungs werden mit Hilfe der Angabe über die umsetzbare Energie (ME) und folgender Gleichung geschätzt:  $BGA [m^3/kg \text{ oTS}] = 0,0442 * ME + 0,2918$ . Gülle und Stallung werden nach Angaben aus der Literatur bewertet.

nur als Kontrolle mitlaufenden Vergleichsbetriebs zeigten (Referenzbetrieb K2)<sup>33</sup>, wiesen die Energiepflanzenverfahren jedoch eine Vorzüglichkeit auf.)

Für den Modellbetrieb wurde die Leistungsklasse der Biogasanlage mit 1000 kW<sub>el</sub> vorgegeben. Die in der Modellrechnung verwendeten Kennzahlen sind in folgender Abbildung dargestellt.

Leistungsklasse (=BHKW-Größe)	Fermenter	Zufuhr/Tag	Biogasmenge	max. Strom- produktion/Jahr	Erlös/kWh
kW <sub>el</sub>	m <sup>3</sup>	t oTS/d	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /a	kWh/a	ct/kWh
<b>500</b>	5.500	16,5	1.276.770	3.750.000	14,98
<b>1000</b>	11.000	33,0	2.553.540	7.500.000	13,19
<b>Annahmen:</b>	bei 11 m <sup>3</sup> /kW *	BR bei 3 kg oTS/m <sup>3</sup> d	bei ~ 0,4 m <sup>3</sup> BGA/kg oTS und 0,53 % CH <sub>4</sub>	bei 7.500 Voll- laststunden (ca. 85 % Auslastung)	Mischkalk. laut EEG2005 ohne jährliche Degression
<b>Funktion im Modell</b>	Anspruchs- grundlage der Anlage	Beschickungs- menge als Summe div. Futtermittel bzw. Reststoffe	mindest Liefe- rung an BHKW für volle Leis- tung, Voraus- setzung ist vorh. Gasspeicher	Puffer für War- tungsarbeiten, Betriebsausfall und geringere Auslastung des BHKW	Errechnung der Leistung

**Abbildung 8.23** Spezifizierung der für den Modellbetrieb verwendeten Biogasanlage (\* Mittelwert aus FNR-Messprogramm 2005, Nawaro Biogasanlagen)

Die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage hängt stark vom Stromerlös ab, der wiederum durch das EEG (EnergieEinspeiseGesetz) geregelt wird. Das Blockheizkraftwerk (BHKW) bildet den Kernfaktor der Wirtschaftlichkeit (Leistungsproduzent bei hohem Anschaffungspreis, kurzer Nutzungsdauer, hohem Wartungsaufwand) und muss daher unter Volllast, und dies möglichst das ganze Jahr über, laufen. Das im Faulraum (Fermenter) der Biogasanlage gebildete Biogas muss diesen Methanbedarf decken. Die Konzeption der Biogasanlage ist stark an die Wahl der Substrate angepasst.

Folgende *Abbildung 8.24* stellt die Auswirkungen der Szenarienannahmen auf die Landnutzung bei einem Modellbetrieb mit einer 1000-kW<sub>el</sub>-Biogasanlage dar. Die Auswirkungen entsprechen weitgehend dem vorher errechneten Trend (s. Kap. 5.3). Die erforderliche Zunahme der Silomaisfläche zur Erzeugung von Gärsubstrat (Silomais als Energiepflanze) von nur ca. 1 % oder knapp 70 ha konnte dabei zum großen Teil durch Wiederaufnahme der Nutzung von aus der Produktion gefallener Flächen gedeckt werden.

<sup>33</sup> Die Darstellung der Szenarioergebnisse auf dem Referenzbetrieb K2 (Tierhaltung und Biogasanlage in einem solch großen Umfang, dass geringfügige Verschlechterungen der Produktionsbedingungen bereits zu Flächenkonkurrenzen führen) können dafür herangezogen werden, die Folgen des Klimawandels bei Ausweitung der Biogasproduktion auf einem stärker flächenbegrenzten Betrieb zu zeigen. Auf eine detaillierte Ausführung soll jedoch mit Rücksicht auf den Umfang des Berichts verzichtet werden. Dieser Betrieb hatte auch unter den Liberalisierungs- und Klimabedingungen seine Flächen stets unter Nutzung (bei besseren mittleren Standortbedingungen), da die Biogasproduktion und Tierhaltung unter allen Szenariobedingungen rentabel bleiben.

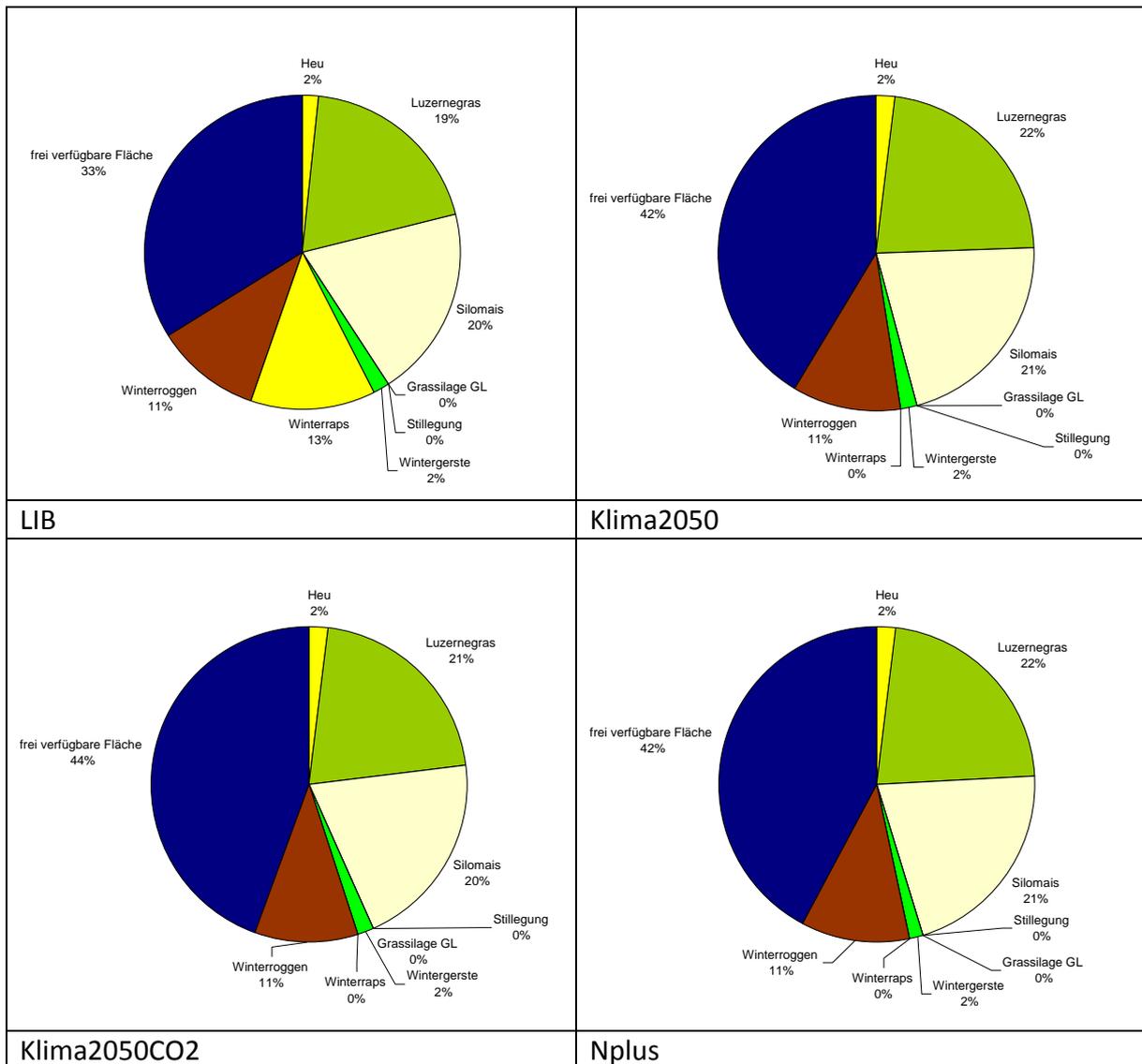
	GAP2013	Lib	klim2050	klim2050 mit CO <sub>2</sub> -Effekt	Nplus
Relativer Deckungsbeitrag	100%	148%	138%	143%	129%
Heu	0,85%	1,78%	2,04%	1,94%	2,04%
Luzernegras	14,92%	19,39%	22,31%	21,15%	22,02%
Silomais	17,36%	19,69%	21,39%	20,28%	21,12%
Grassilage GL	11,61%				
Stillegung	14,75%				
Wintergerste	11,11%	1,58%	1,66%	1,58%	1,57%
Winterraps	16,09%	12,96%			
Winterroggen	13,31%	10,74%	11,11%	10,70%	11,10%
Frei verfügbare Fläche	0,00%	33,86%	41,49%	44,37%	42,14%

**Abbildung 8.24** Anbauverhältnisse und Gesamtdeckungsbeitrag in den Szenarien. Erläuterungen der Szenarien in Kap 5.3

Ein Vergleich der Szenarioergebnisse hinsichtlich der Aufnahme der Biogasproduktion (Betrieb ohne/mit Biogasanlage) verdeutlicht damit den großen Einfluss einer vollständigen Verwertung der tierischen Reststoffe auf den Anspruch der Biogasanlage hinsichtlich der Bereitstellung flächenintensiver Kosubstrate. Das Szenario Gap2013 verzeichnete nur geringfügig höhere Silomaisanbauflächen (+0,9 %) durch die Integration der Biogasanlage. Aufgrund der hohen Tierzahlen und entsprechend hoher Menge an Wirtschaftsdünger, d.h. Substrate (Gülle und Stalldung) für die Erzeugung von Biogas, fällt der Bedarf an Silomais (Energiepflanzensubstrat als Koferment) nur gering aus<sup>34</sup>.

Dieser im Vergleich mit den im Schritt 2 dargelegten Abschätzungen noch einmal geringere Flächenanspruch im Modell ist zum einen auf die hier angesetzte optimale Biogasausbeute sowie zum anderen auf die zusätzlich einbezogene Verwertung von Stallmist zurückzuführen. Es zeigte sich, dass allein die gemeinsame Vergärung von Gülle und Stallmist zur Auslastung des BHKW in Höhe von 80-90 % beitragen kann.

<sup>34</sup> Hinzu kommt die der hohen Gesamtfläche des Betriebs geschuldete prozentuale Geringfügigkeit selbst bei Flächenänderungen über 50 ha.



**Abbildung 8.25** Flächenverteilung im Modellbetrieb mit Biogasanlage in den Szenarien Lib (Liberalisierungsszenario), Klim2050 (Klimaszenario ohne CO<sub>2</sub>-Einfluss), Klim2050CO2 (Klimaszenario2050 mit CO<sub>2</sub>-Einfluss) und Nplus (Klimaszenario2050 ohne CO<sub>2</sub>-Einfluss bei angestiegenen Stickstoffdüngerpreisen (50 %))

Die Zusammensetzung der Kulturarten auf den unter Bedingungen der Klimaszenarien landwirtschaftlich genutzten Flächen mit besseren Böden (Ackerzahl 38) spiegelt deutlich die beiden Hauptbetriebszweige des Modellbetriebs wieder. Nach dem Wegfall des Wintererbses (rel. starke Ertragsabnahme) werden nur noch auf 13 % der Fläche Marktfrüchte angebaut. Die übrige noch bestellte Fläche wird über die Ansprüche der Tierproduktion (Milch) und der Biogasanlage bestimmt, die trotz aller Änderungen im vollen Umfang erhalten bleiben<sup>35</sup>. Die zur Ausbringung der Gärreste nach dem Fermentationsprozess (aus Gülle, Stallmist, Energiepflanzen) benötigten Produktionsverfahren mit organischem Flüssigdüngeranspruch werden von dem Betrieb auf ca. 1800 ha durchgeführt. Gegenüber der Gülleausbrin-

<sup>35</sup> An dieser Stelle sei auf die in Kap. 5.3 erläuterten Modellannahmen und Anmerkungen zu den Modellergebnissen verwiesen: Auch hier sind der hohe Luzerneanteil und die Aufgabe der Produktion von Grassilage auf Grünland in den Szenarien unter Liberalisierungsbedingungen (Wegfall der Prämie etc.) stark mit den als gering anzusehenden Erträgen eines Zweischürigen Grasbestandes zu erklären. Die Modellierung der Biogasanlage beinhaltet gleichbleibende Annahmen der Investitionskosten und Zahlungsströme über alle Szenarien. Änderungen der Kostenstruktur ergeben sich somit allein aus den verbundenen Anbauverfahren.

gung auf dem Modellbetrieb ohne Biogasanlage führt die Beimengung von Kosubstraten in den Fermenter der Biogasanlage somit zu einem um ca. 100 ha höheren Flächenanspruch durch Ausbringung der Gärreststoffe.

Der langfristig angesetzte Wegfall der Prämien unter Liberalisierungsbedingungen in Verbindung mit den Annahmen zur Entwicklung des Kostengerüstes sowie Preisen und Erträgen innerhalb der dargestellten Extremszenarien weisen auf eine zunehmende Unwirtschaftlichkeit vor allem auf den schlechteren Standorten hin, die für weite Teile Brandenburgs prägend sind. Auch das Grünland verliert bei insgesamt nur gering angesetzten Erträgen (s. Kap. 5.3) neben einigen speziellen Aufgaben, wie z.B. der Heuproduktion für bestimmte Fütterungsverfahren bei Jungrindern, an Bedeutung. Selbst auf den besseren Standorten der Ackerzahlklasse 38 (entspricht etwa den Landbaugebieten II-III)<sup>36</sup> kann es unter den getroffenen Annahmen zur Aufgabe der Produktion kommen, wobei Sensitivitätsanalysen zeigten, dass Winterroggen unter den Modellannahmen am ehesten wieder angebaut werden könnte.

Setzt man diesem stark in der Zukunft liegenden Trend die kurzfristig getroffenen Maßnahmen zum Abbau der Konkurrenzsituation von Nahrungs- und Energiepflanzenanbau durch Aufgabe der Flächenstilllegungsverpflichtung seit dem Winter 2007 entgegen, wird die Herausforderung, aber auch die Chance deutlich, die sich aufgrund von potenziell schwer nutzbaren Flächen ergibt. Handlungsoptionen entstehen über die Verbindung von finanzieller Förderung an Nachhaltigkeitskriterien (z.B. Kulturartendiversität, Grünlandumbruchverbot). Auch die Erforschung und Entwicklung von an marginale und degradierte Flächen angepasste Energiepflanzenanbauverfahren durch Züchtung und Praxisversuche kann zur Entschärfung dieser Problematik beitragen.

---

<sup>36</sup> Quelle: Datensammlung für die Betriebsplanung des LVLf-Brandenburg 2005

## 9 Synthese und Implikationen für die Flächennutzungs- und Stadtentwicklungspolitik

Der Klimawandel wird auf verschiedene Weise Einfluss auf die Kulturlandschaft der Zukunft haben. Vor allem sind die direkten Einflüsse veränderter Temperaturen und Niederschläge auf Pflanzenwachstum, Artenzusammensetzung und Wasserhaushalt zu nennen. Aufgrund dessen wird es in verschiedenen Bereichen der Ressourcennutzung zu Anpassungsreaktionen und –maßnahmen kommen, die wiederum je nach ihrer Ausgestaltung weitere Veränderungen der Produktionssysteme und der Kulturlandschaft nach sich ziehen können. Mit den Bereichen Wasserhaushalt, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Naturschutz werden in dieser Studie die wichtigsten Zusammenhänge zwischen Klimawirkungen, möglichen Anpassungsmaßnahmen und der Kulturlandschaft vertiefend untersucht.

Neben den notwendigen Anpassungsmaßnahmen an den nicht mehr zu vermeidenden Klimawandel werden aber auch eine Reihe von Maßnahmen im Rahmen der Emissionsvermeidung zu Veränderungen in der Kulturlandschaft führen. Die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen bei der Umgestaltung des gesamten Energiesystems werden so groß sein, dass es zu veränderten Marktbedingungen für Energie, Rohstoffe und vor allem auch der Land- und Forstwirtschaft kommen wird. Da vor allem im Bereich der Entwicklung neuer Energietechnologien noch sehr viel Bewegung ist, die vor allem von den politischen Rahmenbedingungen (z.B. Emissionshandel, Beimischungsquoten) abhängen, sind hier langfristige Projektionen zu den Auswirkungen auf regionaler Ebene sehr schwierig. Allerdings zeichnet sich bereits ab, dass verschiedene erneuerbare Energieträger (Windenergie, Solarenergie, Bioenergie) je nach Nutzungsgrad neue Elemente in der Kulturlandschaft darstellen werden. Die vorliegende Studie beschränkt sich auf Aussagen zu einer verstärkten Nutzung der Biomasse, und hier vor allem in Form von Biogas, auf die landwirtschaftlichen Betriebe der Region.

Schliesslich sind unabhängig vom Klimawandel noch die langfristigen Veränderungen auf den globalen Agrarmärkten als Triebkräfte für die Veränderung der regionalen Kulturlandschaft zu nennen. Durch die stetig steigende globale Nachfrage nach Agrarprodukten bei gleichzeitig weiterer Liberalisierung der Märkte sind hier auf der regionalen Ebene teilweise gegenläufige Triebkräfte zu erwarten. Wenn sich im Rahmen einer umfassenden Treibhausgas-Vermeidungsstrategie allerdings die Nachfrage nach Bioenergie weiter erhöht, zeichnet sich ein langfristiger Trend zu verstärkter Flächennachfrage und Intensivierung der Flächennutzung ab.

### Wasser

Die Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und regionaler Wasserverfügbarkeit stellen einen sehr wichtigen Querschnittsaspekt dar. Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Wassersektor haben eine Reihe von Implikationen für andere sozioökonomischen Bereiche, die übergreifend betrachtet und gegeneinander abgewogen werden müssen. Beispielsweise können höhere Temperaturen im Sommer bei zurückgehenden Niederschlägen Trockenstress für natürliche Vegetation und landwirtschaftliche Kulturen bewirken. Eine Handlungsoption, um Ertragsverluste in Land- und Forstwirtschaft zu vermeiden, wäre die Installation von Beregnungsanlagen. Geschieht dies aber in einer Region wie Berlin-Brandenburg, in welcher der Grundwasserspiegel sinkt und bereits viele Feuchtgebiete geschädigt sind,

führt dies zu negativen Auswirkungen, die nicht allein auf Natur- und Artenschutz beschränkt bleiben, denn die Feuchtgebiete spielen für die gesamte Region Berlin-Brandenburgs durch ihre Ausgleichsfunktion des Landschaftswasserhaushaltes eine entscheidende Rolle. Durch den Erhalt und die Revitalisierung von Feuchtgebieten, Mooren und wechselfeuchtem Grünland sowie die Extensivierung der Landnutzung in Auen und Uferbereichen lassen sich die durch den Klimawandel abnehmenden Abflussmengen und ihre zunehmende jahreszeitliche Variabilität am effektivsten und kostengünstigsten entschärfen.

Für Berlin und sein Umland könnte sich künftig in Folge der Klimaänderungen ein Anpassungsbedarf des wasserwirtschaftlichen Managements bei der Flutung der Tagebaurestlöcher ergeben. Die durch den Braunkohlebergbau eingeleiteten Grubenwassermengen erhalten in diesem Zusammenhang eine besondere Relevanz, haben sie doch wesentlich umfangreichere Auswirkungen, als die in gleichem Zeitraum durch die Temperaturerhöhung zu erwartenden und für die Landnutzung relevanten Wasserverluste.

Auch ein anderer wesentlicher Parameter des Landschaftswasserhaushaltes, die Grundwasserneubildung, wird nicht alleine durch die Auswirkungen des Klimawandels bestimmt. Die Art und Weise, wie Freiflächen genutzt werden, hat darauf einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss. So führt eine verstärkte Aufforstung von Brachflächen zu abnehmenden Grundwasserneubildungsraten und beeinflusst den Abfluss negativ. Die Erhöhung der Laub- und Mischwaldanteile kann dazu beitragen, die Grundwasserneubildung zu verbessern. Zunehmende Flächenversiegelung stellt gerade im urbanen und peri-urbanen Bereich hier ein Konfliktfeld dar, weshalb z. B. die weitere Minimierung des Flächenverbrauchs und die Wiedernutzung von Siedlungsbrachen zu fördern wären. Maßnahmen wie Regenwasserspeicherung und –nutzung durch Zisternen mindern einen schnellen Abfluss des Oberflächenwassers und reduzieren den Verbrauch an Trinkwasser. Neben dem Mengenproblem führen Nährstoffeinträge zu Qualitätsproblemen. Die Wassergüte lässt sich durch eine Reduzierung der Nährstoffeinträge aus Landwirtschaft, Industrie und Haushalten verbessern. Hier sollte mit Maßnahmen zur Vermeidung von Schmutzwasserüberläufen bei Starkregenereignissen und einer verbesserten Abwasserreinigung reagiert werden.

Erosionsschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft etwa spielen bei der zu erwartenden Zunahme von Starkniederschlagsereignissen und Trockenperioden eine wichtige Rolle, und mit einfachen Methoden kann das Rückhaltevermögen der Böden verbessert werden. Diffuse Einträge in das Gewässersystem können durch die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung reduziert werden. Weitere Maßnahmen wie der Anbau von Zwischen- und Untersaaten werden in manchen Bundesländern durch das Kulturlandschaftsprogramm gefördert. Wassernutzungskonflikte werden in Zukunft in vielerlei Hinsicht auftreten, und Interessensgruppen aus Landwirtschaft, Binnenfischerei, Tourismus, Natur- und Gewässerschutz sowie Energiewirtschaft werden sich zum Teil gegenüber stehen. Noch lässt sich z. B. nicht abschätzen, wann unter neuen Rahmenbedingungen die Bewässerung im Gemüsebau intensiviert bzw. im Ackerbau wieder Verbreitung finden wird. Neben der Abwägung von Kosten und Nutzen einzelner Handlungsoptionen durch die wirtschaftlichen Akteure wird die Politik noch stärker gefordert sein, wichtige Ressourcen im Bereich Boden und Wasser durch ordnungsrechtliche Maßnahmen stärker zu schützen. Notwendig ist dabei, alle Akteure in den Abwägungsprozess und die Planungsvorhaben einzubeziehen.

Auch der Wasserverbrauch durch private und gewerbliche Nutzer wird in Zukunft aufgrund der oben beschriebenen Engpässe eine neue Bedeutung erlangen. Deshalb erscheint es wichtig, die Berliner Wasserbetriebe stärker in die Abstimmung von Stadtentwicklungs- und Umweltpolitik einzubinden.

Als Flächenbesitzer können Berliner Stadtgüter und Berliner Forsten in der Bewirtschaftungs- und Maßnahmenplanung mit Pilotprojekten beispielhaft vorgehen. Dabei wird es auch notwendig sein, sich über die Landesgrenzen hinaus in der Gestaltung von Landnutzungspolitiken abzustimmen.

### Landwirtschaft

Klimabedingte Ertragsveränderungen in der Landwirtschaft müssen im Kontext der Dynamik der wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen betrachtet werden. Die steigende weltweite Nahrungsmittelnachfrage, eine auch nach 2013 fortschreitende Liberalisierung der europäischen Agrarmärkte und die politisch initiierte Nachfrage nach Bioenergie werden die regionale Landbewirtschaftung wahrscheinlich stärker beeinflussen als die zu erwartenden klimabedingten Ertragseffekte. Eine klimafreundliche und klimaangepasste Landwirtschaft in Berlin und dem Umland wird schon dann in großen Teilen eingeleitet sein, wenn es gelingt, eine nachhaltige und multifunktionale Landwirtschaft auch unter dem derzeitigen und sehr wahrscheinlich mittelfristig anhaltenden Intensivierungsdruck in der Fläche zu verankern. Hier sind vor allem die Agrarumweltpolitik und eine integrative Naturschutzpolitik gefordert.

Die Region Berlin-Brandenburg ist bereits heute aufgrund von Klima und Boden kein landwirtschaftlicher Gunststandort. Besonders die leichten, sandigen Standorte mit geringem Wasserhaltevermögen zeigen eine hohe Vulnerabilität gegenüber Extremereignissen (Hitze, Trockenheit oder Starkniederschlag) und werden daher auch bei langsamen Klimaveränderungen negativ betroffen sein.

Trotzdem werden die durchschnittlichen Klimaeffekte kein Ausmaß annehmen, auf welches nicht durch technischen Fortschritt oder Betriebsmanagement angemessen reagiert werden könnte. Um diese Anpassungsoptionen optimal zu nutzen, sind die Einhaltung und Weiterentwicklung der Guten Fachlichen Praxis und der schnelle Transfer neuen Wissens wesentliche Faktoren. Hierzu zählen z. B. der Erosionsschutz sowie im Bereich der Produktionstechnik besser angepasste Sorten, bodenschonende Bearbeitungsverfahren und effiziente Pflanzenschutzmaßnahmen. Unter dem Aspekt des Klimawandels sollte deshalb die pflanzenbau-liche Betriebsberatung erhöhte Aufmerksamkeit von Politik und Landwirten erhalten. Berlin-Brandenburg verfügt noch über eine hohe Forschungskompetenz in den Agrarwissenschaften. Diese gilt es zu erhalten und in sinnvoller Weise über die Ländergrenze hinweg zielorientiert zu koordinieren, um den regionalen Nachfragern in der Praxis Innovationen zeitnah zur Verfügung zu stellen (so z. B. über das in 2009 beginnende Forschungsprojekt INKAR-BB im Rahmen des KLIMZUG-Programms des BMBF).

Über die gute fachliche Praxis hinausgehende Maßnahmen werden über die Kulturlandschaftsprogramme der Länder gefördert. Der starken Reduzierung der Budgets auf EU- und Bundesebene folgten auch die Bundesländer, was u. a. eine Ausdünnung des Maßnahmen-spektrums zur Folge hatte. Standortangepasste Maßnahmen im Ackerbau, die kleinräumigen Divergenzen Rechnung tragen, sollten wieder finanziell gestärkt werden. Ebenso wäre eine Unterstützung der Verfahren der Präzisionslandwirtschaft durch eine Investitionsförderung zu prüfen.

Noch nicht absehbar ist derzeit, ob es gelingen kann, durch Forschung und Entwicklung auch die Wirkungen häufiger auftretender Extremereignisse abzumildern. Dazu müssen weitere empirische Analysen und die breite Praxiserprobung bereits anwendbarer Verfahren abgewartet werden. Möglicherweise können hier Mehr-Gefahren-Versicherungen einen wichtigen Beitrag zur finanziellen Absicherung der Betriebe leisten. Diese werden seit einer Weile

auf EU-Ebene politisch diskutiert, vor allem auch bezüglich der teilweisen staatlichen Unterstützung der Prämienzahlung im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik.

Großer Forschungsbedarf besteht besonders hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktqualitäten und möglicher Handlungsstrategien. In der Region dürfte dies besonders für den Gemüseanbau von Bedeutung sein.

Die Modellrechnungen für einen Beispielbetrieb der Region (7000 ha Nutzfläche, 3000 Milchkühe, 1000-KW-Biogasanlage) zeigen, dass unter Liberalisierungsbedingungen leichte Böden sowie das Grünland kaum noch rentabel zu bewirtschaften sind. Dies ist jedoch ein langfristiges Szenario, das sich nur schrittweise nach 2020 einstellen könnte. Der Effekt von klimabedingten Ertragsdepressionen trifft insbesondere den Anbau von Winterraps, der bei den sich einstellenden Erträgen nicht mehr anbauwürdig wäre. Andere Kulturen bleiben von diesen Effekten relativ unbeeinflusst. Die positive Wirkung von Raps als „Blattfrucht“ in der Fruchtfolge (Bodengare, Ernterückstände, etc.) müsste von diesen ausgeglichen werden.

Die Verteuerung von den in der Herstellung energieintensiven Stickstoffdüngern ändert die betriebliche Organisation kaum, senkt aber den erzielbaren Deckungsbeitrag des Betriebes. Allerdings stehen dem Modellbetrieb große Mengen an Wirtschaftsdüngern und Gärresten aus der Biogasanlage zur Verfügung, so dass mineralische Düngemittel substituiert werden können.

### Bioenergie

Am Beispiel des Modellbetriebes, der bereits eine Biogasanlage betreibt, werden für die unterschiedlichen Ausbaustufen der Klimaschutzziele der Bundesregierung die entstehenden Flächenansprüche auf der Basis von Überschlagsrechnungen hergeleitet. Die geschätzten und auf den Betrieb heruntergebrochenen Anteile an der Stromerzeugung aus Erneuerbarer Energie können über den Biogaspfad ohne gravierende Umstellungen des Betriebs erreicht werden. Die Erfüllung der angestrebten Anteile regenerativer Energieträger an der bundesweiten Treibstoffversorgung würde für den Modellbetrieb bedeuten, den Flächenanteil zur Produktion von Biogas zu verdoppeln. Ein weiterer Ausbau der Biogasnutzung kann teilweise durch eine vermehrte Güllenutzung unterstützt werden. Dies ist gerade aus politischer Sicht ein wichtiges Argument, um die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion durch eine energetische Biomassenutzung abzumildern. Sehr deutlich zeigt sich der positive Einfluss einer Nutzung von im Betrieb vorhandenen Reststoffen (Gülle und Festmist), weil die Flächenkonkurrenz zu anderen landwirtschaftlichen Produkten vermindert wird. Der energetische Beitrag der Reststoffe in der Biogasanlage des Modellbetriebs liegt bei ca. 50 %. Der Effekt der Gewährung des „Güllebonus“ im Rahmen des EEG unterstützt diese positive Richtung, um noch nicht genutzte Güllekapazitäten in landwirtschaftlichen Betrieben der Biogasproduktion zuzuführen. Dies setzt allerdings voraus, dass die hiermit entstehenden Transporte nicht zu unverhältnismäßigem Verkehrsaufkommen führen. Im Modellbetrieb erfordert die gleichzeitige Versorgung mit Futter für die Tierproduktion und Gärsubstrat für die Biogasanlage konstant hohe Anteile von Silomais in allen Szenarien. Züchtungsfortschritte lassen allerdings im Zeitraum der langfristigen Szenarien die Einführung neuer Sorten und ggf. sogar neuer Kulturarten wie z. B. Hirse erwarten, so dass die Vielfalt der Kulturlandschaft gewahrt bleiben dürfte.

Entsprechend der derzeit ausgewerteten Anbauversuche und der technischen Fortschritte in der Produktionstechnik wird sich der Anbau mehrjähriger Kulturen zu einer ökonomisch interessanten Alternative entwickeln. Ertragreiche Standorte sind allerdings in Brandenburg nur in begrenztem Umfang verfügbar. Die extensive Nutzung ist eine naturschutzfachlich zu prüfende Option für Brachen, Rieselfelder und ehemalige Stilllegungsflächen.

## Wald

Vom Klimawandel werden nach derzeitigem Wissenstand vor allem das Zuwachsvermögen der Waldbäume, die Grundwasserneubildung und die Nutzung des Waldes als Erholungsraum beeinflusst. Die räumlichen Zusammenhänge zwischen Standorteigenschaften und dem Vorkommen der einzelnen Baumarten schwerpunktmäßig auf bestimmten Standorten erschweren allerdings generelle Aussagen. Keine der betrachteten Baumarten (Buche, Eiche, Birke, Kiefer) würde unter den getroffenen Annahmen völlig ausfallen. Die Buche reagiert als einzige Baumart auf den derzeit von ihr besiedelten besseren Standorten tendenziell positiv auf den Klimawandel, während die anderen betrachteten Baumarten unter zunehmend trockenen Bedingungen leiden werden. Die Konkurrenzkraft der Buche wird zunehmen und die waldbauliche Steuerung von Mischbeständen aus Buche und anderen Baumarten aufwändiger werden als es derzeit der Fall ist. Zu empfehlen ist der Verzicht auf kurze Verjüngungszeiträume, die Verwendung von Mischungen auf für mehrere Baumarten geeigneten Standorten sowie der Verzicht auf Frühjahrspflanzungen, da diese sehr unter häufiger auftretenden Trockenperioden im Frühjahr leiden.

Die Grundwasserneubildung geht unter allen Szenarien zurück. Lässt man die derzeit grundwasserbeeinflussten Standorte aus der Analyse heraus, so ist im ungünstigsten Fall ein Rückgang der Versickerung auf ein Viertel, im günstigsten auf etwa drei Viertel des derzeitigen Niveaus zu erwarten. Die Baumartenverteilung spielt dabei eine geringe Rolle, da Wechselwirkungen mit Bodenvegetation, Terminierung von Regenereignissen und Bestandesstruktur wichtige Faktoren sind. Die in der Literatur aufgezeigte Überlegenheit der Buche lässt sich aus den Modellrechnungen nicht bestätigen.

Bei einer Absenkung des Grundwasserspiegels auf eher trockenen Standorten muss mit drastischen Zuwachsrückgängen der Waldbestände gerechnet werden. Durch diese Schwächung der Bäume können Extremereignisse und Krankheiten, die normalerweise keine Gefahr darstellen, die Bestände zumindest kleinflächig bedrohen. Neben den wirtschaftlichen Schäden sind beim Absterben von Einzelbäumen negative Folgen für das Grundwasser (Streuzersetzung, Nitratauswaschung) und die Betretbarkeit des Waldes (Totholz im Kronenbereich) zu erwarten.

Weitere Aspekte, die die Erholungsnutzung des Waldes betreffen, sind eine zunehmende Gefährdung durch Sommerstürme, abgestorbenes Kronenmaterial und die Ausbreitung allergener Neophyten und Neozoen. Bisher ist eine Steigerung der Häufigkeit von Extremwindereignissen für das Norddeutsche Tiefland nicht sicher nachgewiesen, jedoch in Zukunft wahrscheinlicher. Die Berliner Forsten werden sich auf eine steigende Häufigkeit von Sommerstürmen mit den entsprechenden Schäden im Wald und auf Nachbargrundstücken einstellen und Strategien zu deren Minderung entwickeln müssen. Waldbetretungsverbote sind eine Möglichkeit, die jedoch durch entsprechende Aufklärungsarbeiten bei der Bevölkerung begleitet werden sollten.

Die Klimaentwicklung wird auf alle Fälle die Bedingungen für das Ausbreiten z. B. der Beifuß-Ambrosie und des Eichenprozessionsspinners verbessern. Für ein entsprechendes Monitoring- und Bekämpfungssystem sind entsprechende Personal- und Materialmittel im Haushalt zu berücksichtigen.

Die Waldbäume werden zwar insgesamt – außer unter den Bedingungen eines „trockenen“ Szenarios – besser wachsen, jedoch sind steigender Stress und das Absterben von Einzelbäumen häufiger zu erwarten. Die Verkehrssicherungspflicht wird hierdurch noch anspruchsvoller als derzeit, da auch auf noch ungefährdeten Standorten entsprechende Ereignisse drohen. Insgesamt sind für die Berliner Forsten keine dramatischen Änderungen zu

erwarten. Die Betreuung des Waldes wird allerdings intensiver erfolgen müssen, um bei negativen Veränderungen eingreifen und steuern zu können, bevor große Areale betroffen sind.

### Naturschutz und Landschaftsplanung

Naturschutz in und um Berlin ist einer besonders starken Nutzungskonkurrenz ausgesetzt. Diese generiert sich im Allgemeinen aus der wirtschaftlichen Nutzung von Landwirtschafts- und Forstflächen. Im Speziellen kommen im Berliner Kontext städtebauliche Erfordernisse und Bedarfsansprüche der städtischen Bevölkerung, etwa für Erholung und Nahtourismus, hinzu, die den Bedürfnissen des Naturschutzes u. U. entgegenstehen. Die so umrissene Nutzungskonkurrenz um Freiflächen wirkt sich bereits heute auf die verschiedenen Naturgüter – Flora und Fauna, Böden, Gewässer, etc. – aus, in der Regel negativ. Für die Zukunft kann erwartet werden, dass die Nachfrage nach bisher nicht erschlossenen und un bebauten Flächen, vor allem für Siedlungsentwicklung, und der Intensitätsgrad der land- oder forstwirtschaftlichen Nutzungen auf guten und mäßigen Standorten sich weiter verstärken. Andererseits ist je nach Gestaltung der Agrarpreispolitik auch mit aus der Nutzung fallenden Grenzstandorten (vor allem Grünland) zu rechnen.

Eine weitere Gefährdung der Biodiversität für das in großen Teilen landwirtschaftlich genutzte Offenland muss erwartet werden. Dies gilt vor allem dann, wenn die klimabedingten Änderungen mit den zu erwartenden ökonomischen und agrarpolitischen Entwicklungen einhergehen und zu einer wahrscheinlich weiteren Intensivierung der Landwirtschaft führen. Nebeneffekte einer intensiveren landwirtschaftlichen Nutzung werden auch eine verminderte Akzeptanz bzw. das Unterlaufen von Agrarumweltmaßnahmen und die vermehrte Nutzung ehemaliger Stilllegungsflächen sein. Dies erweist sich aus unternehmerischer Sicht je nach Höhe der Kulturlandschaftsprämie als ökonomisch vorteilhaft. Jenseits der klimabedingten Effekte ist mit einer weiteren Abschwächung der positiven Effekte auf Natur-, Arten- und Gewässerschutz zu rechnen. Diese wurden bisher bestimmt durch das Gesamtbudget, das Maßnahmenspektrum und die Prämienhöhen, wobei sowohl auf Bundes- als auch EU-Ebene die Handlungsspielräume der Länder eingeschränkt werden. So erscheint z. B. eine Überprüfung der Ausgleichshöhe im Rahmen des Health-Checks der EU-Agrarpolitik in 2009 aufgrund veränderter Marktbedingungen geboten.

Eine nachhaltige Landnutzung wird unter den Bedingungen des Klimawandels noch wichtiger als bisher. Dabei müssen sich insbesondere Landwirtschaft und Naturschutz nicht ausschließen, wenn die Bedingungen einer Guten Fachlichen Praxis dem Klimawandel Rechnung tragen und Anwendung finden. Wert müsste dann auf divers strukturierte, abwechslungsreiche Flächenanteile gelegt werden, wie sie durch die Kulturlandschaftsprogramme gefördert werden. Maßnahmen wie Blüh- und Randstreifen sowie vielgestaltige Fruchtfolgen sind Beispiele hierfür. Der Erhalt der Agrobiodiversität, etwa durch extensive Nutzung ohne Herbizideinsatz oder ein breites Sortenspektrum im Anbau, wird ebenso wichtig, wie die spezifische Definition von Nutzungsintensitäten von bestimmten Flächen und deren Grenzen. Hierfür ist der Vertragsnaturschutz ein bewährtes Instrument, welches jedoch in seiner Anwendung in den letzten Jahren aus Gründen der Kofinanzierung (kein Bestandteil der Gemeinschaftsaufgabe), gerade von den finanzschwachen Bundesländern deutlich zurückgefahren wurde. Wie auch in Bezug auf die Land- und Forstwirtschaft ist die klimabedingte Verfügbarkeit von Wasser ein entscheidendes Kriterium für Veränderungen beim Naturschutz. Insbesondere werden aus Veränderungen des Wasserhaushaltes negative Effekte auf die wertvollen Feuchtgebiete in und um Berlin herum zu erwarten sein. Es ist mit einem besonders hohen

Verlust an Biodiversität im Hinblick auf Feuchtigkeit liebende Arten zu rechnen. Dies ist vor allem zu erwarten, weil der einleitend herausgearbeitete Nutzungskonflikt schon jetzt zu starken Emissionen von Stickstoffverbindungen und Eutrophierung führt, die die Vulnerabilität von Ökosystemen erhöht und deren Widerstandsfähigkeit gegen klimabedingte negative Einflüsse herabsetzt. Es wird deutlich, dass die Instrumente des Schutzes wertvoller Biotope im Rahmen des FFH-Gebietsmanagements und der Wasserrahmenrichtlinie in ihrer Wirksamkeit geschärft und weiterentwickelt werden müssen. Hier sind weitere Analysen und Erprobungsprojekte notwendig, um angemessene Anpassungsstrategien für den Klimawandel und den wahrscheinlich steigenden Nutzungsdruck zu konzipieren.

Beim Thema Wasser muss darauf hingewiesen werden, dass aus Naturschutzgründen die Wassernutzung künftig noch effizienter und gezielter zu steuern ist. Wasserhaushaltskonzepte für den verbesserten Wasserrückhalt in der Landschaft bzw. ein stabilisierendes Wassermanagement sind von besonderer Bedeutung. Dies könnte auch zur Festlegung von Mindestvorhaltemengen führen, bei deren Unterschreitung keine oder nur noch klar definierte Wassermengen für bestimmte Nutzungen abgezweigt werden dürfen.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass stadtplanerische Erfordernisse angesichts des Klimawandels – nämlich die Inwertsetzung von bestehenden und zusätzlichen Grünflächen – die Wasserverfügbarkeit u. U. in kritischen Trockenphasen noch verschärfen können, denn solche Flächen müssen, um Temperaturen im Stadtkern senken zu können, bewässert werden.

Grundsätzlich ist im Zuge des Klimawandels auch auf naturschutzfachlich wichtige Folgen hinsichtlich eines veränderten Landschaftsbildes hinzuweisen. Dieses Bild kann sich in Folge von Klimaänderungen vor allem im Bereich der Feuchtgebiete z. T. deutlich verändern, vor allem aufgrund von niedrigem Grundwasser und ausgedehnten Trockenperioden. Deutlich sichtbare Änderungen der Struktur von Flora und Fauna wären dann die Folge.

Gleichwohl ist für die das Berliner Umland besonders prägenden Offenland- und Rasengesellschaften keine grundsätzlich neue Perspektive hinsichtlich des typischen Landschaftsbildes erkennbar. Abgesehen von leichten funktionalen Verschiebungen und Substitutionen einzelner Arten der Flora und Fauna dürfte eine Offen- bzw. Rasengesellschaft in ihrer wahrnehmbaren Optik erhalten bleiben.

### Handlungsempfehlungen

Aus den oben beschriebenen Nutzungskonkurrenzen um Fläche und Wasser folgt, dass Disens bzw. schwierige Konsensfindung den politischen und planerischen Entscheidungsprozess bestimmen werden. Wahrscheinlich ist, dass die bevorstehenden Herausforderungen und Probleme nicht im Alleingang von Land- und Forstwirten, Naturschützern oder Planern gelöst werden können. Von daher ist es angeraten, schon im Vorfeld von Planungsphasen an die Erarbeitung von "Win-Win-Potenzialen" zu gehen, die nur durch gemeinsam formulierte Ziele und darauf fußende Maßnahmen zu erzielen wären. Dies bedingt einen Partizipationsansatz als methodische Grundlage planerischen Handelns, der bewusst auf die starke Einbeziehung lokaler und regionaler Kompetenz setzt.

Aus naturschutzfachlicher Sicht dürfte das besonders wichtig sein vor dem Hintergrund der stärkeren Vernetzung und Verbindung von Biotopen und Naturschutzgebieten zur Gestaltung von Wanderkorridoren, die in Zukunft eine stark zunehmende Bedeutung haben werden. Entsprechende politische Weichenstellungen wären dann, dass großräumige Projekte einer integrativen Landnutzung durch Naturschutz und Land- und Forstwirtschaft in der Diskussion und dann in der konkreten Entscheidungsfindung in den Vordergrund gerückt werden.

Über die differenzierte, nicht statische Definition von Nutzungsintensitäten verschiedener Areale ließen sich Konfliktfelder minimieren. Gleichwohl müsste an Kompensationsmaßnahmen für Landwirte und andere Flächennutzer gedacht werden, wenn z. B. Naturschutzbelange in ihrer Bedeutung höher eingestuft werden. Dies erfordert, dass sich die Berliner Landesregierung auch für eine noch stärkere Orientierung der EU-Agrarpolitik an gesellschaftlich gewünschten, oft komplexen Zielvorstellungen und weniger für eine bloße Transferpolitik zur Stützung von Einkommen einsetzt (Modulation).

Doch sind Konkurrenzbeziehungen (vor allem um Fläche und Wasser) nicht nur zwischen Naturschutz und Land- und Forstwirtschaft gegeben, sondern im Berliner Kontext in ganz besonderem Maße auch in Bezug auf die Bebauung und Versiegelung von Flächen sowie auf die Bereitstellung von Arealen für Erholung und Tourismus. Das inhärente Konfliktpotenzial sollte im Rahmen landschaftsplanerischer Aktivitäten also mit den jeweils betroffenen Stakeholdern breit diskutiert werden und Instrumente wie Flächenpools oder bildgestützte Planungsverfahren zur Anwendung kommen. Der Erhalt von Kaltluftschneisen und kleinflächigen Freiräumen ist in Zukunft für die Stadt- und Landschaftsplanung von noch größerer Bedeutung. Das setzt in jedem Fall eine fachübergreifende Planung und – gerade bei Konflikten, die über das Stadtgebiet Berlins hinausreichen – auch eine regionsübergreifende Diskussion voraus. Zudem sollte sich die Senatsverwaltung intensiv an der Diskussion um Ziele von nationalen Strategien und neue Leitbilder der Stadtentwicklungspolitik beteiligen.

## 10 Literatur

- Abgeordnetenhaus Berlin (2008): Im Klima wandeln – Kaltluftentstehungsgebiete und Frischluftschneisen in Berlin von Bebauung freihalten. Drucksache 16/12374. Berlin: Abgeordnetenhaus Berlin.
- Abildtrup, J., Gylling, M. (2001): Climate change and regulation of agricultural land use, A literature survey on adaptation options and policy measures. Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics.
- Adam, L.; Möller, J.; Walotek, P.; Korn, Höhne, B. (2007): Atlas Alternative Energien Brandenburg, Juni 2007, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz Brandenburg. Potsdam.
- Aggarwal, P. K.; Kalra, N.; Chander, S.; Pathak, H. (2006): InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pest, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. II: Performance of the Model. In: *Agricultural Systems* 89, p. 47-67.
- Alcamo, J. et al. (2000): *World Water in 2025: Global Modelling and Scenario Analysis for the World Commission on Water for the 21<sup>st</sup> Century*. Kassel: University of Kassel.
- Alcamo, J.; Henrichs, T.; Rösch, T. (2000): *World water in 2025: Global modelling and scenario analysis for the world commission on water for the 21<sup>st</sup> century*. Kassel: University of Kassel.
- Alcamo, J.; Moreno, J. m.; Novaky, B. (2007): Europe. In: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): *Fourth assessment report: Climate Change 2007: Working Group II Report "Impacts, Adaptation and Vulnerability"*. Chapter 12. Geneva: IPCC.
- Ansmann, T. (2008): Szenariobasierte Simulation des Bedarfs an Oberflächenwasser der öffentlichen Wasserversorgung im Elbegebiet, In: Hartje, V. et al.: *Regionalisierung der Szenarioanalyse (der Antriebskräfte und des Nutzungsdruckes) des globalen Wandels für die Wasserwirtschaft*, abrufbar unter [http://www.glowa-elbe.de/german/schlussbericht\\_glowa2.htm](http://www.glowa-elbe.de/german/schlussbericht_glowa2.htm), zuletzt abgerufen am: 01.06.2008
- Aretz, A. und Hirschl, B. (2008): *Energetische Nutzung von Dendromasse in Brandenburg*. Forst und Holz 6/2008, Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft; S. 29-32.
- Aretz, A. und Hirschl, B. (2008): *Energetische Nutzung von Dendromasse in Brandenburg*. Forst und Holz 6/2008, Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover. S. 29-32
- Asshoff, R., G. Zotz und C. Korner (2006): Growth and phenology of mature temperate forest trees in elevated CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology* 12(5): 848-861.
- Ayres, M. P. und M. J. Lombardero (2000): Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Science Of The Total Environment* 262(3): 263-286.
- Backes, K. und C. Leuschner (2000): Leaf water relations of competitive *Fagus sylvatica* and *Quercus petraea* trees during 4 years differing in soil drought. *Canadian Journal Of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 30(3): 335-346.
- Badeck, F.-W., P. Lasch, Y. Hauf, J. Rock, F. Suckow und K. Thonicke (2004): Steigendes klimatisches Waldbrandrisiko. *AFZ / Der Wald* 59(2): 90 - 93.
- Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft & Bayerische Forstverwaltung (2007): *Merkblatt ENERGIEWALD - Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb*. [http://www.forst.bayern.de/asp/energiwald/28226/linkurl\\_2.pdf](http://www.forst.bayern.de/asp/energiwald/28226/linkurl_2.pdf)
- Beedlow, P. A., D. T. Tingey, D. L. Phillips, W. E. Hogsett und D. M. Olszyk (2004): Rising atmospheric CO<sub>2</sub> and carbon sequestration in forests. *Frontiers In Ecology And The Environment* 2(6): 315-322.
- Beierkuhnlein, C. (2008): Regionale Aspekte des Klimawandels – Entwicklungen und Konsequenzen in Bayern. Vortrag auf dem Symposium „Globaler Klimawandel und Gesundheit“. München: Landeszentrale für Gesundheit in Bayern.
- Bender & Schäfer (2007): Informationen zur EG-Wasserrahmenrichtlinie, In: *WRRl-Info*, Nr. 14, abrufbar unter: <http://www.wrrl-info.de/site.php4?navione=angebote&navitwo=materialien&content=materialien>, zuletzt abgerufen am 10.10.2008
- Bender, J., Hertstein, U., Black, C.R. (1999): Growth and yield responses of spring wheat to increasing carbon dioxide, ozone and physiological stresses, a statistical analysis of "ESPACE-wheat" results. *Eur. J. Agron.* 10, 185-195

- Bender, J., Weigel, H.-J. (2002): Ozone Stress Impacts on Plant Life. In: Ambast, N.K., Ambast, R.S. (Hrsg.) *Modern Trends in Applied Terrestrial Ecology*, New York, 165-182.
- Berger, S.; Walther, G.-R. (2006): Von Einzelarten zu Pflanzengesellschaften – Sind Auswirkungen durch den Klimawandel zu erwarten? In: Korn, H. et al. (Hrsg.): *Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland II – Ergebnisse und Dokumentation des 2. Workshops*. BfN-Skripten 180. S. 38-44. Bonn: BfN.
- Bergfeld, T., Strube, T., Kirchesch, V. (2005): Auswirkungen des globalen Wandels auf die Gewässergüte im Berliner Gewässernetz, In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (Hrsg.): *Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbeinzugsgebiet*, S. 357-368
- Berndes, G. (2002): Bioenergy and water — the implications of large-scale bioenergy production for water use and supply, In: *Global Environmental Change* Nr. 12, S. 253–271
- BfN (Bundesamt Für Naturschutz) (2004): *Daten zur Natur*. Bonn: BfN.
- BfN (Bundesamt Für Naturschutz) (2007): *Keine Entwarnung für gefährdete Lebensräume in Deutschland*. Bonn: BfN.
- BGR (1998): *Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:100.000.000 (BÜK 1000)*. Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Bilke, G., Muchin, A., Hohm, C. (2006): *Analyse zur naturalen Basis der weiteren Entwicklung der energetischen Nutzung von Holz in Brandenburg. Auftragsstudie für die Energie Technologie Initiative Brandenburg*.
- Billen, N. & Aurbacher, J. (2007): In: Krimly, T. Dabbert, S. (Hrsg.): *Landwirtschaftlicher Hochwasserschutz: 10 Steckbriefe für 12 Maßnahmen; ein Maßnahmen-Ratgeber für verschiedene Umsetzungsebenen.*, Stuttgart
- Block, A. (2007): *Unsicherheiten in Oberflächen- und Bodenparametern und ihre Auswirkungen auf die Ergebnisse von regionalen Klimasimulationen*, Dissertation. Abrufbar unter: <http://clm.gkss.de/index.php?menuid=26>
- BMU (2007): *Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2006. Stand Juni 2007 unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien - Statistik (AGEE-Stat)*. ULR: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/vnd.ms-powerpoint/ee\\_zahlen\\_2006\\_dt\\_ppt.ppt](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/vnd.ms-powerpoint/ee_zahlen_2006_dt_ppt.ppt)
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz Und Reaktorsicherheit) (2007): *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt*. Berlin: BMU.
- Boelcke, B. (2001): *Schnellwachsende Baumarten Ergebnisse aus Mecklenburg-Vorpommern 1993-1999* (abrufbar unter [www.landwirtschaft-mv.de/nwe-baum.mv](http://www.landwirtschaft-mv.de/nwe-baum.mv) zuletzt abgerufen am 1.11.08).
- Boelcke, B. (2006): *Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen – Leitfaden zur Erzeugung von Energieholz*. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg – Vorpommern (abrufbar unter [http://www.dendrom.de/daten/downloads/boelcke\\_leitfaden\\_energieholz.pdf](http://www.dendrom.de/daten/downloads/boelcke_leitfaden_energieholz.pdf) zuletzt abgerufen am 20.10.2008).
- Bogena, H., Kunkel, R., Montzka, C., Wendland, F. (2005): *Uncertainties in the simulation of groundwater recharge at different scales*, In: *Advances in Geosciences*, 5, S. 25–30
- Böhm, U., Kücken, M., Ahrens, W., Block, A., Hauffe, D., Keluer, K., Rockel, B., Will, A. (2006): *CLM - the climate version of LM: Brief description and long-term applications*. COSMO Newsletter, 6.
- Boisvenue, C. und S. W. Running (2006): *Impacts of climate change on natural forest productivity - evidence since the middle of the 20th century*. *Global Change Biology* **12**(5): 862-882.
- Bonn, S. (2000): *Competition dynamics in mixed beech-oak stands and its modifications expected due to climate changes*. *Allgemeine Forst Und Jagdzeitung* **171**(5-6): 81-88.
- Breda, N., H. Cochard, E. Dreyer und A. Granier (1993): *Water Transfer In A Mature Oak Stand (Quercus-Petraea) - Seasonal Evolution And Effects Of A Severe Drought*. *Canadian Journal Of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* **23**(6): 1136-1143.
- Brown, L. R. (1995): *Who will feed China?* Washington, D.C.: World Watch Institute.
- Brown, L. R. (1995): *Who Will Feed China?* Washington, D.C.: World Watch Institute.
- Brown, S., I. R. Swingland, R. Hanbury-Tension, G. T. Prance und N. Myers (2002): *Changes in the use and management of forests for abating carbon emissions: issues and challenges under the Kyoto Protocol*.

- Philosophical Transactions Of The Royal Society Of London Series A-Mathematical Physical And Engineering Sciences **360**(1797): 1593-1605.
- Bruinsma, J. (ed.) (2003): World Agriculture towards 2015/2030. London: Earthscan.
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) 2004: Denkschrift Forschung für eine naturgerechte Landwirtschaft
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) 2006: Biologische Vielfalt und Klimawandel – Gefahren, Chancen, Handlungsoptionen. BfN-Skripten 148.
- Bundesgesetzblatt (2006): Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromrechtlicher Vorschriften, Jahrgang 2006, Teil I, Nr. 62, Bonn
- Butt, T. A. et al. (2005): The Economic and Food Security Implications of Climate Change in Mali. In: Climatic Change 68, p. 355-378.
- Chmielewski, F.-M., Köhn, W. (1999): Impact of weather on yield components of spring cereals over 30 years. Agr. Forest Meteorol. 96, 49- 58.
- Chmielewski, F.M., Müller, A., Küchler, W. (2004): Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen. HU Berlin.
- Chornesky, E. A., A. M. Bartuska, G. H. Aplet, K. O. Britton, J. Cummings-Carlson, F. W. Davis, J. Eskow, D. R. Gordon, K. W. Gottschalk, R. A. Haack, A. J. Hansen, R. N. Mack, F. J. Rahel, M. A. Shannon, L. A. Waigner und T. B. Wigley (2005): Science priorities for reducing the threat of invasive species to sustainable forestry. Bioscience 55(4): 335-348.
- Christen, O. (2007): Sorten für Morgen – Herausforderungen für die Pflanzenzüchtung. Herausforderung Klimawandel. Auswirkungen auf die Landwirtschaft in Mitteleuropa – Lösungsansätze. DLG Wintertagung 2007. [http://download.dlg.org/pdf/wita2007/KF\\_Christen.pdf](http://download.dlg.org/pdf/wita2007/KF_Christen.pdf).
- Christensen, J., Carter, T., Rummukainen, M. (2007): Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project, In: Climate Change, 81
- Cohen, B. (2006): Urbanization in Developing Countries: Current Trends, Future Projections, and Key Challenges for Sustainability. In: Technology in Society 28, p. 63-80.
- Collins, K. (2007): The new world of biofuels: Implications for agriculture and energy. Paper presented at the EIA Energy Outlook, Modelling and Data Conference. Washington, D.C.: USDA.
- Conradt, T., Hattermann, F., Wechsung, F. (2008): Simulation von räumlich differenzierten Abflußdargebots-szenarien und landwirtschaftlichen Ertragspotentialen für das Elbegebiet mit dem ökohydrologischen Modell SWIM, In: Hartje, V. et al.: Regionalisierung der Szenarioanalyse (der Antriebskräfte und des Nutzungsdruckes) des globalen Wandels für die Wasserwirtschaft, abrufbar unter [http://www.glowa-elbe.de/german/schlussbericht\\_glowa2.htm](http://www.glowa-elbe.de/german/schlussbericht_glowa2.htm), zuletzt abgerufen am: 01.06.2008
- Conradt, T., Kaltfofen M., Hentschel, M., Hattermann, F.F., Wechsung F. (2007): Impacts of global change on water-related sectors and society in trans-boundary central European river basin – Part 2, In: Advanced Geoscience 11, S. 93–99
- Coyle, W. (2007): The Future of Biofuels: A Global Perspective. In: Amber Waves, November 2007.
- Cramer, W. (2006): Globaler Klimawandel und Wälder. In: Höltermann, A.; Hiermer, J.D. (Hrsg.): Wald, Naturschutz und Klimawandel – Ein Workshop zur Zukunft des Naturschutzes im Wald vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels. BfN-Skripten 185. S. 11-33. Bonn: BfN
- Cramer, W.; Vohland, K. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf gefährdete Biotoptypen und Schutzgebiete. Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- Crutzen, P. J.; Mosier, A. R. ; Smith, K. A.; Winiwarter, W. (2008): N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels, In: Atmos. Chem. Phys., 8, S. 389–395
- Czajkowski, T., M. Kuhling und A. Bolte (2005): Impact of the 2003 summer drought on growth of beech sapling natural regeneration (*Fagus sylvatica* L.) in north-eastern Central Europe. Allgemeine Forst Und Jagdzeitung 176(8): 133-143.
- DEFRA (Department of Environment, Food and Rural Affairs) (2000) Climate Change and Agriculture in the United Kingdom. 12/2005 <http://www.defra.gov.uk/farm/environment/climate-change/impact/climate.pdf>.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) 2005: Perspektiven der grarwissenschaftlichen Forschung.
- Dickson, R. E., M. D. Coleman, P. Pechter und D. Karnosky (2001): Growth and crown architecture of two aspen genotypes exposed to interacting ozone and carbon dioxide. Environmental Pollution 115(3): 319-334.

- Diederichsen, A. (1996): Coriander (Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops Series, Vol. 3), Rome: IPGRI
- Doleschel, P. (2007) Klimawandel und Landwirtschaft, Anpassungsmöglichkeiten in Ackerbau und Tierhaltung. Bayerisches Symposium zu den Folgen des Klimawandels am 12. April 2007 in Nürnberg.
- Doms, G., Förstner, J., Heise, E., Herzog, H.-J., Raschendorfer, M., Schrodin, R., Reinhardt, T. and Vogel, G. (2004): "A Description of the non-hydrostatic regional model LM, Part II: Physical Parameterization", COSMO, Consortium for Small Scale Modelling
- Doms, G., Schättler, U. (2003): "A Description of the nonhydrostatic regional model LM, Part I: Dynamics and Numerics", COSMO, Consortium for Small Scale Modelling
- Doyle, U.; Ristow, M. (2006): Biodiversität und Naturschutz vor dem Hintergrund des Klimawandels. In: Naturschutz und Landschaftsplanung, 38, S. 101-107.
- Drake, B.G., Gonzáles-Meler, M.A., Long, S.P. (1997): More efficient plants, A Consequence of Rising Atmospheric CO<sub>2</sub>? Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 48, 609-639. EPSO 2005
- Dziewiaty, K.; Bernardy, P. (2007): Auswirkungen zunehmender Biomassennutzung (EEG) auf die Artenvielfalt - Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für den Schutz der Vögel der Agrarlandschaft, Seedorf.
- Easterling, W.; Aggarwal, P. K. (2007): Food, fibre and forest products. In: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): Fourth assessment report: Climate change 2007: Working Group II Report "Impacts, Adaptation and Vulnerability". Chapter 5. Geneva: IPCC.
- EC (European Commission) (2007a): The 2007 outlook for world agricultural commodity markets. In: MAP – Monitoring Agri-Trade Policy, May 2007. Brussels: EC.
- EC (European Commission) (2007a): The 2007 Outlook for World Agricultural Commodity Markets. In: MAP – Monitoring Agri-Trade Policy, May 2007. Brussels: EC.
- EC (European Commission) (2007b): The Impact of a Minimum 10 % Obligation for Biofuel Use in the EU-27 in 2020 on Agricultural Markets. Brussels: EC.
- EC (European Commission) (2008): Tables: Prospects for Agricultural Markets and Income in the European Union 2007-2014. Brussels: EC.  
([ec.europa.eu/agriculture/publi/caprep/prospects2007a/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/publi/caprep/prospects2007a/index_en.htm) of 22/02/08)
- Epple, C. (2008): Die nationale Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- Erhard, M. (2006): Biodiversität im globalen Klimawandel – Risiken und Unsicherheiten für Europa. In: Korn, H. et al. (Hrsg.): Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland II – Ergebnisse und Dokumentation des 2. Workshops. BfN-Skripten 180. S. 16-19. Bonn: BfN.
- Essl, F. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Artengemeinschaften: Bisherige Erkenntnisse und Hypothesen – eine Übersicht. Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- EU Kommission (2008): "Gesundheitscheck" der Gemeinsamen Agrarpolitik. Brüssel: EU Kommission.
- Eulenstein, F. ; Olejnik, J. ; Willms, M. ; Schindler, U. ; Chojnicki, B. ; Meißner, R. (2006): Mögliche Auswirkungen der Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt von Agrarlandschaften in Nord-Mitteleuropa. – Wasserwirtschaft 96 (9): 32-36
- Eulenstein, F. ; Werner, A. ; Fischer, A. (2008): Produktions- und landschaftsökologische Folgen. - In: Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen: wissenschaftliche Fakten: 257-267; Hamburg (Wiss. Auswertungen).
- Eulenstein, F. ; Willms, M. ; Schindler, U. ; Müller, L. ; Mirschel, W. ; Dalchow, C. ; Augustin, J. ; Wiggering, H. (2007): What are the effects of climate change on agriculture in north east central europe?. - In: Proceedings 101st EAAE Seminar "Management of Climate Risk in Agriculture", Berlin, Germany, July 5-6, 2007: 1-8
- Eulenstein, F. ; Willms, M. ; Schindler, U. ; Müller, L. ; Mirschel, W. (2007): Mögliche Folgen des Klimawandels auf den Nitrat- und Sulfataustrag in die ungesättigte Zone landwirtschaftlich genutzter Böden in Nordostdeutschland. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (110(2)): 585-586
- Europäisches Parlament; Europäischer Rat (2001): Richtlinie 2001/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfungen des Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L197/31.

- Fangmeier, A., De Temmerman, L., Black, C., Persson, K., Vorne, V. (2002): Effects of elevated CO<sub>2</sub> and/or ozone on nutrient concentrations and nutrient uptake of potatoes. *Eur. J. Agron.* 17, 353-368.
- Fangmeier, A., Franzaring, J. (2006): Klimaänderungen und die Folgen für die Landwirtschaft. In: Hütter, C.P., Link, F.-G. (Hrsg.) *Warnsignal Klimawandel, Wird Wasser knapper? Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg* 42, 86-99.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2002): *World agriculture towards 2015/2030: Summary report.* Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2008): *World Agriculture towards 2030/2050: Interim Report.* Rome: FAO. ([www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e00.htm](http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e00.htm) of 22/02/08)
- FAPRI (Food and Agricultural Policy Research Institute) (2008): *FAPRI Searchable Outlook Database.* Ames: FAPRI. ([www.fapri.iastate.edu/tools/outlook.aspx](http://www.fapri.iastate.edu/tools/outlook.aspx) of 22/02/08)
- Feger, K. H.; Petzold, R. (2005): Standort und Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb, Vortrag Frauwalde 1.12.2005.
- Finnan, J.M., Donnelly, A., Jones, M.B., Burke, J.I. (2005): The Effect of Elevated Levels of Carbon Dioxide on Potato Crops, A Review. *J. Crop Improvement* 13, 91-112.
- Fischer, A. ; Eulenstein, F. ; Werner, A. (2008): Auswirkungen von Hitzestress in der Tierproduktion unter Freilandbedingungen. - In: *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen : wissenschaftliche Fakten: 291-295; Hamburg*
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello F.N., van Velhuizen, H. (2005): Socio-economic and climate change impacts on agriculture, an integrated assessment, 1990-2080. *Philos. T. R. Soc. B360*, 2067-2083.
- Fischer, G.; Heilig, G. K. (1998): Population momentum and the demand on land and water resources. *Research Reprint RR-98-1.* Laxenburg: IIASA.
- Franzaring, J., Henning-Müller, I., Funk, R., Hermann, W., Wulfmeyer, V., Claupein, W., Fangmeier, A. (2007) Effects of solar, climatic and atmospheric components on historical crop yields.
- Freier, B. (2004): Pflanzenschutz, Welche Risiken liegen vor uns, und wie bekommen wir sie in den Griff? In: Isermeyer, F. (Hrsg.) *Ackerbau 2025. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft* 274, 99-102.
- Frielinghaus, M., Brandhuber, R., Schmidt, W.-A. (2002): Vorsorge gegen Bodenerosion durch gute fachliche Praxis. 114. VDLUFA-Kongress.
- Frobel, K. (2008): Anforderungen an Naturschutzstrategien und -konzepte vor dem Hintergrund des Klimawandels aus der Sicht der Naturschutzverbände. Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- Fuhrer, J.: (2007) Sustainability of Crop Production Systems under Climate Change. In: Newton, P.C.D., Carran, R.A., Edwards, G.R., Niklaus, P.A. (Hrsg.) *Agroecosystems in a Changing Climate*, 167-185.
- Gebhardt H. (2006): Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung in Baden-Württemberg. In: Korn, H. et al. (Hrsg.): *Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland II – Ergebnisse und Dokumentation des 2. Workshops.* BfN-Skripten 180. S. 46-48. Bonn: BfN.
- Geissbühler S., (2000): Wiedervernässung und Entbuschung als Massnahmen zur Regeneration eines abgetorfte Hochmoores im Schweizer Mittelland *Vierteljahrsschr. Nat.forsch.Ges.Zü.* 145, 2-3: 87-109
- Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, 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 Nr. 83
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C. (2005): Simulationsergebnisse des regionalen Klimamodells STAR, In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. : *Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbeinzugsgebiet*, S. 110-118
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C. Orłowski, B., Wodinski, M. (2008): Modellierung der regionalen Klimaentwicklung, In: Hartje, V. et al.: *Regionalisierung der Szenarioanalyse (der Antriebskräfte und des Nutzungsdruckes) des globalen Wandels für die Wasserwirtschaft*, abrufbar unter [http://www.glowa-elbe.de/german/schlussbericht\\_glowa2.htm](http://www.glowa-elbe.de/german/schlussbericht_glowa2.htm), zuletzt abgerufen am: 01.06.2008

- Gielsen, B. und R. Ceulemans (2001): The likely impact of rising atmospheric CO<sub>2</sub> on natural and managed Populus: a literature review. *Environmental Pollution* **115**(3): 335-358.
- Gill, S. E.; Handley, J. F.; Ennos, A. R.; Pauleit, S. (2007): Adapting cities for climate change: The role of green infrastructure. In: *Built Environment*, Vol. 33, No. 1, S. 115-133. (
- Glugla, G. & Fürtig, G. (1997): Dokumentation zur Anwendung des Rechenprogramms ABIMO. – Bundesanstalt für Gewässerkunde, Außenstelle Berlin.
- Greater London Authority (Hrsg.) (2006): London's urban heat island: A summary for decision makers. London: Greater London Authority.
- Grossmann, M., Behrendt, H. (2008): Kosteneffiziente Maßnahmenkombination zur Reduktion der Nährstoffeinträge im Einzugsgebiet der Elbe, In: Behrendt, H. et al.: Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Nährstoffeinträge und Frachten im Elbeeinzugsgebiet, abrufbar unter: [http://www.glowa-elbe.de/german/schlussbericht\\_glowa2.htm](http://www.glowa-elbe.de/german/schlussbericht_glowa2.htm), zuletzt abgerufen am 08.07.2008
- Grundmann, P. und Eberts, J. (2008): Betriebliche und regionale Entscheidungsmodelle. Anbau- und Nutzungsstrategien von Dendromasse. Verbundvorhaben DENDROM –Zukunftsrohstoff Dendromasse. Systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwertung von Dendromasse aus Wald- und Feldgehölzen. Vorläufiger Endbericht. Kapitel H. 27 Seiten.
- Grünewald, H., Pape, D., Schneider, B. U., Murach, D., Kächele, H., Hüttl, R. F.. (2005): Long-term perspectives of bioenergy production in energy plantations and agroforestry systems; In: Sjunnesson, L., Carrasco, J.E., Helm, P., Grassi, A. (Hrsg.): 14th European Biomass Conference. Proceedings of the European Conference held in Paris 17-21 October 2005, ETA-Renewable Energies und WIP-Renewable Energies, 168-171.
- Grünewald, H., Schneider B.U., Bilke, G., Muchin, A. (2008): Anbau- und Nutzungsstrategien von Dendromasse. Verbundvorhaben DENDROM. Verbundvorhaben DENDROM –Zukunftsrohstoff Dendromasse. Systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwertung von Dendromasse aus Wald- und Feldgehölzen. Vorläufiger Endbericht. Kapitel I.
- Grünewald, H., Schneider B.U., Bilke, G., Muchin, A. (2008): Anbau- und Nutzungsstrategien von Dendromasse. Verbundvorhaben DENDROM. Vorläufiger Endbericht. Kapitel I.
- Grünewald, H.; Pape, D.; Schneider, B. U.; Murach, D.; Kächele, H.; Hüttl, R. F. (2005): Long-term perspectives of bioenergy production in energy plantations and agroforestry systems; In: Sjunnesson, L.; Carrasco, J.E.; Helm, P.; Grassi, A. (Hrsg.): 14th European Biomass Conference. Proceedings of the European Conference held in Paris 17-21 October 2005, ETA-Renewable Energies und WIP-Renewable Energies. Seite 168-171.
- Guericke, M. (2008) Anlage von Schnellwuchsplantagen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Erzeugung von Energieholz. Erste Erfahrungen mit dem Anbau von Weiden im Kurzumtrieb. *Forst u. Holz*, 61. Jg., Seite 478-483.
- Guericke, M. (2008): Anlage von Schnellwuchsplantagen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Erzeugung von Energieholz. Erste Erfahrungen mit dem Anbau von Weiden im Kurzumtrieb. *Forst u. Holz*, 61. Jg., 478-483
- Habeck, A., Krysanova, V., Hattermann, F. (2005): Integrated analysis of water quality in a mesoscale lowland basin, In: *Advances in Geosciences*, 5, S. 13–17
- Hattenschwiler, S. und C. Korner (1998): Biomass allocation and canopy development in spruce model ecosystems under elevated CO<sub>2</sub> and increased N deposition. *Oecologia* **113**(1): 104-114.
- Hattermann, F. F., Gömann, H., Conradt, T., Kaltofen, M., Kreins, P., Wechsung, F. (2007): Impacts of global change on water-related sectors and society in a trans-boundary central European river basin – Part 1, In: *Advanced Geoscience* **11**, S. 85–92
- Hattermann, F. F., Wattenbach, M., Krysanova, V., Wechsung, F. (2005): Runoff simulations on the macroscale with the ecohydrological model SWIM in the Elbe catchment–validation and uncertainty analysis, In: *Hydrological Processes*
- Hattermann, F.F., Krysanova, V., Wechsung, F. (2005): Folgen von Klimawandel und Landnutzungsänderungen für den Landschaftswasserhaushalt und die landwirtschaftlichen Erträge im Gebiet der deutschen Elbe. In: Wechsung et al. : Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Band 6, 151-164

- Heiland, S.; Geiger, B.; Rittel, K.; Steinl, C.; Wieland, S. (2008): Der Klimawandel als Herausforderung für die Landschaftsplanung. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* (40) (2), S. 37-41.
- Henniges, O. (2007): Profitability of bioethanol – a national and international comparison of production and production costs. In: *Agrarwirtschaft* 56 (5/6), p. 249-254.
- Henniges, Y., Danzeisen, H., Zimmermann, R.-D. (2005): Regionale Klimatrends mit Hilfe der phänologischen Uhr, dargestellt am Beispiel Rheinland-Pfalz. *Z. Umweltchem. Ökotox.* 17(1), 24-28.
- Henrichsmeyer, W., Cypris, C., Löhe, W., Meudt, M. (1996): Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektor-modells RAUMIS96 am Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre, Agrarpolitik und Landwirtschaftliches Informationswesen der Universität Bonn, In: *Agrarwirtschaft* 4/5, S.213-215
- Hertel, T. W. (2007): The biofuels boom: Implications for world food markets. Paper presented at Food Economy Conference 2007. The Hague: Dutch Ministry of Agriculture.
- Hertel, T. W. (2007): The Biofuels Boom: Implications for World Food Markets. Paper presented at Food Economy Conference 2007. The Hague: Dutch Ministry of Agriculture.
- Hofreither, M. F. (2005): Von Malthus zum Treibhauseffekt - Landwirtschaft und Welternährung als Prognoseproblem. In: *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*. Bd. 10, S. 1-32.
- Hofreither, M. F. (2005): Von Malthus zum Treibhauseffekt - Landwirtschaft und Welternährung als Prognoseproblem. In: *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*. Bd. 10, p. 1-32.
- Höhne, B. (2006): Stand und Potenzial der Biogasproduktion in Brandenburg, In: *MLUV - Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz: Biogas in der Landwirtschaft. Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg*, Potsdam.
- Holsten, A. (2007): Ökologische Vulnerabilität von Schutzgebieten gegenüber Klimawandel – exemplarisch untersucht für Brandenburg. Potsdam: PIK.
- Ibanez, I., J. S. Clark, M. C. Dietze, K. Feeley, M. Hersh, S. Ladeau, A. Mcbride, N. E. Welch und M. S. Wolosin (2006): Predicting biodiversity change: Outside the climate envelope, beyond the species-area curve. *Ecology* 87(8): 1896-1906.
- Ibisch, P. (2006a): Klimawandel und Klimaschutz: Chancen, Gefahren und Handlungsoptionen für den Naturschutz im Wald. In: *Höltermann, A.; Hiermer, J.D. (Hrsg.): Wald, Naturschutz und Klimawandel – Ein Workshop zur Zukunft des Naturschutzes im Wald vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels*. BfN-Skripten 185. S. 71-81. Bonn: BfN.
- Ibisch, P. (2006b): Klimawandel und Schutzgebiets-Gap-Analyse – Aktuelle Diskussion. In: *Korn, H. et al. (Hrsg.): Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland II – Ergebnisse und Dokumentation des 2. Workshops*. BfN-Skripten 180. S. 20-21. Bonn: BfN.
- Ibisch, P. (2008): Natura 2000 und Klimawandel. Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- IFPRI (International Food Policy Research Institute) (2005): *New risks and opportunities for food security: Scenario analyses for 2015 and 2050*. Washington, D.C.: IFPRI.
- IFPRI (International Food Policy Research Institute) (2005): *New Risks and Opportunities for Food Security: Scenario Analyses for 2015 and 2050*. Washington, D.C.: IFPRI.
- IGER (Institute of Grassland and Environmental Research) (2003): *The Impacts of Climate Change on UK Agriculture*.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2008): *Climate Change and Water*, abrufbar unter: <http://www.ipcc.ch/meetings/session28/doc13.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.10.2008
- IPCC (2001): *Climate change 2000, Summary for policy makers*, Cambridge
- IPCC (2002): *Climate Change and Biodiversity*. IPCC Technical Paper V. IPCC.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers*. in: *PARRY, M. L., O. F. CANZIANI, J. P. PALUTIKOF, P. J. VAN DER LINDEN und C. E. HANSON (Hrsg.) (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working group II to the Fourth Assessment Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press. S. 7 - 22.
- Isermeyer, F. et al. (2002): *Agrar- und Ernährungsforschung in Deutschland*, Braunschweig.
- Isermeyer, F.; Zimmer, Y. (2006): *Thesen zur Bioenergiepolitik in Deutschland*. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie Nr. 2, Braunschweig.

- Jacob, D. (2007): Climate Modelling: global and regional scenarios, abrufbar unter: <http://www.adelphi-consult.com/climate-and-vectors/docsandlinks.html>, zuletzt abgerufen am 20.04.2007
- Jacob, D., Gerstengabe, F.-W. (2005): Klimaszenarien für den deutschen Teil des Elbeinzugsgebiets, In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (Hrsg.): Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbeinzugsgebiet, S. 85-89
- Jacobsen, J. B. und B. J. Thorsen (2003): A Danish example of optimal thinning strategies in mixed-species forest under changing growth conditions caused by climate change. *Forest Ecology And Management* 180(1-3): 375-388.
- Jandl, R., L. Vesterdal, M. Olsson, O. Bens, F. Badeck und J. Rock (2007): Carbon sequestration and forest management. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2(17): doi: 10.1079/PAVSNNR20072017.
- Jones, P.D. et al. (1999): The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Climatic Change*, 42, 131-149, 139 f.
- Joosten, H. (2006): Moorschutz in Europa. Restauration und Klimarelevanz. In: BUND Landesverband Niedersachsen (Hsg.): Moor in der Regionalentwicklung. BUND, Wagenfeld/Ströhen, pp. 35 - 43.
- Jung, S.; Hörchtmann-Jungemann, P. (2007): Bioenergie-Potenzial in Deutschland - Grobschätzung. abrufbar unter: <http://www.sfv.de/artikel/2007/Potentia.htm#toc01>, zuletzt abgerufen am: 06.10.2008
- Kaltschmitt, M.; Streicher, W.; Wiese, A. (2006): Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit und Umweltaspekte, Berlin: Springer.
- Kammann, C., Grünhage, L., Gruters, U., Janze, S., Jäger, H.J. (2005): Response of aboveground grassland biomass and soil moisture to moderate long-term CO<sub>2</sub> enrichment. *Basic Appl. Ecol.* 6(4), 351-365.
- Kasang, D. (2008a): Globale Erwärmung und Niederschlagsextreme, abrufbar unter: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm>, zuletzt abgerufen: 20.05.2008
- Kasang, D. (2008b): Wetterextreme und Klimawandel: Außertropische Stürme, abrufbar unter: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm>, zuletzt abgerufen: 20.05.2008
- Kemfert, C. (2007): Energiemarkt. In: *Das Wirtschaftswissenschaftliche Studium*, Vol 3, S. 269-270.
- Kemfert, C. (2007): Energiemarkt. In: *Das Wirtschaftswissenschaftliche Studium*, Vol 3. p. 269-270.
- Keuler et al. (2006): Quantifizierung von Ungenauigkeiten regionaler Klima- und Klimaänderungssimulationen (QUIRCS), Cottbus
- Kimball, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M. (2002): Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Adv. Agron.* 77, 293-368.
- Kirschke, D.; Häger, A. (2008): Wie geht es weiter auf den Weltagrarmärkten und wie sollte die Agrarpolitik darauf reagieren? In: ifo-Schnelldienst (im Druck).
- Kirschke, D.; Häger, A. (2008): Wie geht es weiter auf den Weltagrarmärkten und wie sollte die Agrarpolitik darauf reagieren? In: ifo-Schnelldienst (im Druck).
- Klimazwei (2007): Anpassung an den Klimawandel durch pflanzenzüchterische Maßnahmen in der Weizenproduktion in Deutschland. <http://www.klimazwei.de>
- Klotz, S. (2008): Arealverschiebung bei Arten und Artengemeinschaften sowie Veränderungen der Phänologie und ihre naturschutzfachliche Bedeutung. Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- Knoll, M.; Rupp, J. (2007): Stoffliche oder energetische Nutzung? Nutzungskonkurrenz um die Ressource Holz, Berlin.
- Knur, L., Murach, D., Murn, Y. et al. (2008): Potentials, Economy and Ecology of a Sustainable Supply with Wodden Biomass. 16th European Biomass Conference and Exhibition. Valencia. Proceedings. 7 Seiten.
- Knur, L.; Murach, D.; Murn, Y. et al. (2008): Potentials, Economy and Ecology of a Sustainable Supply with Wodden Biomass. 16th European Biomass Conference and Exhibition. Valencia. Proceedings. 7 Seiten.
- Koch, G. (2007): Neues Klima, neue Sorten. DLG-Mitteilungen. *Saatgut-Magazin* 07, 10-14.
- Kölling, C. (2006): Die erwarteten Folgen des Klimawandels auf den Wald in Bayern: Auswirkungen auf die Forstwirtschaft und den Naturschutz im Wald. In: In: Höltermann, A.; Hiermer, J.D. (Hrsg.): Wald, Naturschutz und Klimawandel – Ein Workshop zur Zukunft des Naturschutzes im Wald vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels. BfN-Skripten 185. S. 82-95. Bonn: BfN.

- Körber-Grohne, U. (1987): Nutzpflanzen in Deutschland, Stuttgart
- Koricheva, J., H. Vehvilainen, J. Riihimäki, K. Ruohomäki, P. Kaitaniemi und H. Ranta (2006): Diversification of tree stands as a means to manage pests and diseases in boreal forests: myth or reality? *Canadian Journal Of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* **36**(2): 324-336.
- Korn, H. (2006): Biodiversität und Klimaveränderungen – Aktivitäten des BfN. In: Korn, H. et al. (Hrsg.): Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland II – Ergebnisse und Dokumentation des 2. Workshops. BfN-Skripten 180. S. 24-28. Bonn: BfN.
- Korn, H.; Eppe, C. (2006): Biologische Vielfalt und Klimawandel: Gefahren, Chancen und Handlungsoptionen. BfN-Skripten 148. Bonn: BfN.
- Korn, H.; Schliep, R.; Stadler, J. (Hrsg.) (2006): Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland II – Ergebnisse und Dokumentation des 2. Workshops. BfN-Skripten 180. Bonn: BfN.
- Körner, C. (2006): Plant CO<sub>2</sub> responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist* **172**(3): 393-411.
- Kotlarski, S., Block, A. Böhm, U., Jacob, D., Keuler, K., Knoche, R., Rechid, D., Walter, A. (2005): Regional climate model simulations as input for hydrological applications: evaluation of uncertainties, In: *Advances in Geosciences*, 5, S. 119–125
- Kramer, K. (1995): Phenotypic Plasticity Of The Phenology Of 7 European Tree Species In Relation To Climatic Warming. *Plant Cell And Environment* **18**(2): 93-104.
- Krause, S., Bronstert, A. (2005): An advanced approach for catchment delineation and water balance modelling within wetlands and floodplains, In: *Advances in Geosciences*, 5, S.1–5
- Krüger, J.-A. (2008): Noch mehr Dynamik in der Natur? Problematik aus Sicht des Naturschutzes. Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- Krupa, S.V., Jäger, H.-J. (1996) Adverse effects of elevated levels of ultraviolet (UV)-B radiation and ozone (O<sub>3</sub>) on crop growth and productivity. In: *Global climate change and agricultural production. Direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant processes*. FAO.
- Küchler-Krischau, J. (2008): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt: Prozess, Kernpunkte und Implementierung. Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- Lahmer, W. (2006): Auswirkungen von Klimaänderungen im Land Brandenburg auf Wasserhaushalt, Forst- und Landwirtschaft. In: UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.): UBA-Workshop „Klimaänderungen – Herausforderungen für den Bodenschutz. S. 31-54. Dessau: UBA.
- Laine, J., J. Silvola, K. Tolonen, J. Alm, H. Nykanen, H. Vasander, T. Sallantausta, I. Savolainen, J. Sinisalo & P. J. Martikainen (1996). Effect of water-level drawdown on global climatic warming: Northern peatlands. *Ambio* **25**(3): 179-184.
- Laney, K. (2006): Biofuels: Promises and constraints. In: IPC Discussion Paper December 2006. Washinton, D.C.: IPC.
- Larcher, W. (1984): Ökologie der Pflanzen. Stuttgart, Ulmer. 403 S.
- Lasch, P., F. W. Badeck, F. Suckow, M. Lindner & P. Mohr (2005): Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany). *Forest Ecology And Management* **207**(1-2): 59-74.
- Leisinger, K.; Schmitt, K.; Pandya-Lorch, A. (2002): Six billion and counting. IFPRI Food Policy Statement 37. Washington, D.C.: IFPRI.
- Lensing, J. R. und D. H. Wise (2007): Impact of changes in rainfall amounts predicted by climate-change models on decomposition in a deciduous forest. *Applied Soil Ecology* **35**(3): 523-534.
- Lipinski, A. & Kiel, E. (2007): Vergleichende Untersuchung der Chironomidenfauna ausgewählter Hochmoorrenaturierungsgebiete Niedersachsens. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie. Dresden 2006. Tagungsbericht, 444-448.
- Liski, J., A. Pussinen, K. Pingoud, R. Mskipss und T. Karjalainen (2001): Which rotation length is favourable to carbon sequestration? *Canadian Journal Of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* **31**(11): 2004-2013.
- Loehle, C. und D. Leblanc (1996): Model-based assessments of climate change effects on forests: A critical review. *Ecological Modelling* **90**(1): 1-31.

- Long, S.P., Ainsworth, E.A., Rogers, A., Ort D.R. (2004): Rising atmospheric carbon dioxide, plants face the future. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 55, 591-628.
- LUBW (Landesanstalt Für Umwelt, Messungen Und Naturschutz Baden-Württemberg) (2007): Klimawandel und Insekten. Karlsruhe: LUBW.
- Lueschner, C.; Schipka, F. (2004): Vorstudie Klimawandel und Naturschutz in Deutschland. Bonn: BfN.
- Macleod, A., H. F. Evans und R. H. A. Baker (2002): An analysis of pest risk from an Asian longhorn beetle (*Anoplophora glabripennis*) to hardwood trees in the European community. *Crop Protection* 21(8): 635-645.
- Manderscheid, R. (1996) Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on cereals. In: 1. Workshop, Klimaveränderung und Landbewirtschaftung – Landwirtschaft als Verursacherin und Betroffene. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 165*, 61-69.
- Matulla, C., Schöner, W., Alexandersson, H, von Storch, H., Wang, X.L. (2007): European storminess: late nineteenth century to present, In: *Clim Dyn* DOI 10.1007/s00382-007-0333-y
- Matyssek, R., G. Bahnweg, R. Ceulemans, P. Fabian, D. Grill, D. E. Hanke, H. Kraigher, W. Osswald, H. Rennenberg, H. Sandermann, M. Tausz und G. Wieser (2007): Synopsis of the CASIROZ case study: Cabon sink strength of *Fagus sylvatica* L. in a changing environment - Experimental risk assessment of mitigation by chronic ozone impact. *Plant Biology* 9(2): 163-180.
- MELF - Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Brandenburg (1997): Energie aus Biomasse. AG Bioenergie Brandenburg, Potsdam.
- Menzel, A.; Sparks, T. H.; Estrella, N.; Koch, E.; Aasa, A.; Ahas, R.; Alm-Kubler, K.; Bissolli, P.; Braslavska, O.; Briede, A.; Chmielewski, F. M.; Crepinsek, Z.; Curnel, Y.; Dahl, A.; Defila, C.; Donnelly, A.; Filella, Y.; Jatczak, K.; Mage, F.; Mestre, A.; Nordli, O.; Penuelas, J.; Pirinen, P.; Remisova, V.; Scheifinger, H.; Striz, M.; Susnik, A.; Van Viet, A. J. H.; Wielgolaski, F.-E.; Zach, S.; Zust, A. (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. In: *Global Change Biology*, 12, S. 1969-1976.
- Mette, R., Uckert, G. und B. Sattelmacher (2001): Potential of north German hedgerow network as a sustainable biofuel source – working towards regional carbon, energy and nutrient cycles. In: 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, James & James (Science Publisher) Ltd., 323-326.
- Mette, R.; Uckert, G.; B. Sattelmacher (2001): Potential of north German hedgerow network as a sustainable biofuel source – working towards regional carbon, energy and nutrient cycles. In: 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000. James & James (Science Publisher). Seite 323-326.
- Mickovski, S. B., A. Stokes und L. van Beek (2005): A decision support tool for windthrow hazard assessment and prevention. *Forest Ecology And Management* 216(1-3): 64-76.
- Mirschel, W., Eulenstein, F., Wenkel, K.-O., Wieland, R., Müller, L., Willms, M., Schindler, U., Fischer, A. (2005): 6. Regionale Ertragsschätzung für wichtige Fruchtarten auf repräsentativen Ackerstandorten in Märkisch-Oderland mit Hilfe von SAMT. In: Wiggering et al.: *Entwicklung eines integrierten Klimaschutzmanagements für Brandenburg*. [http://z2.zalf.de/content/1784\\_Ertrag\\_fuer\\_Klimawandel\\_Mirschel.pdf](http://z2.zalf.de/content/1784_Ertrag_fuer_Klimawandel_Mirschel.pdf).
- MLUV(a) - Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (2008): Biomasseaktionsplan, abrufbar unter <http://www.mlub.brandenburg.de/cms/media.php/2328/biomaplan.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.10.2008
- MLUV(b) – Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (2008): Plenarvortrag "Energiegewinnung aus Biomasse - ein neuer Wirtschaftsfaktor in Brandenburg", abrufbar unter:<http://www.mlub.brandenburg.de/cms/detail.php/lbm1.c.282860.de>, zuletzt abgerufen am 30.10.2008
- Möller, K., Burgschweiger, J. (Hrsg.) (2008): Wasserversorgungskonzept für Berlin und für das von den BWB versorgte Umland (Entwicklung bis 2040), Berlin
- Moorcroft, P. R., S. W. Pacala und M. A. Lewis (2006): Potential role of natural enemies during tree range expansions following climate change. *Journal Of Theoretical Biology* 241(3): 601-616.

- Morgan, J.A., Pataki, D.E., Korner, C., Clark, H., Del Grosso, S.J., Grunzweig, J.M., Knapp, A.K., Mosier, A.R., Newton, P.C.D., Niklaus, P.A., Nippert, J.B., Nowak, R.S., Parton, W.J., Polley, H.W., Shaw M.R. (2004) Water relations in grassland and desert ecosystems exposed to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Oecologia* 140 (1), 11-25.
- Müller, A., Finke, W.: Auswirkungen der Oderwasserüberleitung auf die Wasserbewirtschaftung im Berliner Gewässersystem, In: Staugeregelte Flüsse in Deutschland, wasserwirtschaftliche und ökologische Zusammenhänge, Kolloquium am 17./18. Juni 2003, Koblenz
- Murach, D., Murn, Y. & Hartmann, H. (2008a): Ertragsermittlung und Potenziale von Agrarholz. *Forst und Holz* 6/2008, Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover. S. 18-23
- Murach, D., Walotek, P. & Hartmann, H. (2008b): Ertragsmodelle für landwirtschaftliche Dendromasse. Verbundvorhaben DENDROM. Vorläufiger Endbericht. Kapitel E. 28 Seiten.
- Murach, D., Walotek, P. & Hartmann, H. (2008b): Ertragsmodelle für landwirtschaftliche Dendromasse. Verbundvorhaben DENDROM. Vorläufiger Endbericht. Kapitel E. 28 Seiten.
- Murach, D.; Murn, Y. ;Hartmann, H. (2008a): Ertragsermittlung und Potenziale von Agrarholz. *Forst und Holz* 6/2008. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft. Seite 18-23.
- Murn, Y. (2007): Modelling potentials of short rotation coppice systems in Brandenburg with GIS. Master Thesis. November 2007. University of Life Sciences Warsaw / University of Applied Sciences Eberswalde.
- Murn, Y. (2007): Modelling potentials of short rotation coppice systems in Brandenburg with GIS, Master Thesis, November 2007, University of Life Sciences Warsaw / University of Applied Sciences Eberswalde.
- Murn, Y. (2008): Nachhaltige Potenziale von Dendromasse. Endbericht Verbundvorhaben DENDROM. Vorläufiger Endbericht. Kapitel F. 44 Seiten
- MWMT – Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Brandenburg (1996): Energiekonzept für das Land Brandenburg.
- NABU (2007): Biomassennutzung aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. Anforderungen des NABU an die Nutzung biogener Reststoffe und den naturverträglichen Anbau nachwachsender Rohstoffe, abrufbar unter: <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/4.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.10.2008.
- Nemani, R. R., C. D. Keeling, H. Hashimoto, W. M. Jolly, S. C. Piper, C. J. Tucker, R. B. Myneni und S. W. Running (2003): Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science* 300(5625): 1560-1563.
- Niklaus, P.S. (2007) Climate Change Effects on Biogeochemical Cycles, Nutrients, and Water Supply. In: Newton, P.C.D., et al. (Hrsg.): *Agroecosystems in a Changing Climate*. CRC Press, Florida, S. 11-52.
- Nitsch, J. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Köllen Druck.
- Nitsch, J. (2007): Leitstudie 2007. Ausbaustrategie Erneuerbare Energien Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050. Untersuchung im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. ULR: <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2007.pdf>
- Nitsch, J. (2008): „Leitstudie 2008“ - Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Nitsch, J. (2008): „Leitstudie 2008“ - Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Norby, R. J., S. D. Wullschleger, C. A. Gunderson, D. W. Johnson und R. Ceulemans (1999): Tree responses to rising CO<sub>2</sub> in field experiments: implications for the future forest. *Plant Cell And Environment* 22(6): 683-714.
- Noss, R. F. (2001): Beyond Kyoto: Forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology* 15(3): 578-590.

- Nuutinen, T., J. Matala, H. Hirvela, K. Harkonen, H. Peltola, H. Vaisanen und S. Kellomaki (2006): Regionally optimized forest management under changing climate. *Climatic Change* 79(3-4): 315-333.
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development); FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2007): OECD-FAO agricultural outlook 2007-2016. Paris: OECD.
- Orlowsky, B., Gerstengarbe, F.-W., Werner, P. C. (2007): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM, In: *Theoretical Applied Climatology* (Online)
- Österle, H., F.-W. Gerstengarbe und P. C. Werner (2006): Ein neuer meteorologischer Datensatz für Deutschland, 1951 - 2003. 7. Deutsche Klimatagung - Klimatrends: Vergangenheit und Zukunft., München, Meteorologisches Institut der Ludwig-Maximilians-Universität. 3 S.
- Ott, K.; Zerbe, S.; Bartolomäus, C.; Mattheiss, V.; Schäfer, C.; Poremski, S.; Riedel, W.; Wenzel, M. (2007): Biodiversität/Naturschutz. In: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus (Hrsg.): *Klimaschutz und Folgen des Klimawandels in Mecklenburg-Vorpommern*. S. 25-29.
- Parry, M. (2005): *Impacts of Climate Change on Agriculture in Europe*. London: UK Meteorological Office.
- Patterson, D.T., J.K. Westbrook, R.J.V. Joyce, P.D. Lingren and J. Rogasik (1999): Weeds, insects, and diseases, *Climatic Change* 43, 711-727
- Paul, N. (2008): Biokraftstoffe: Zertifizierung wird konkret. Internationale Pilotphase für nachhaltig produzierte Biokraftstoffe und Biomasse startet. Abrufbar unter: <http://www.bio-kraftstoffe.info/cms35/Aktuelle-Nachricht.984+M5aa35f4848a.0.html>, zuletzt abgerufen am 15.10.2008
- Peters, K., Bilke, G., Strohbach, B. (2007): „Ertragsleistung sechsjähriger Robinien (*Robinia pseudoacacia*) auf vier ehemaligen Ackerstandorten unterschiedlicher Bodengüte in Brandenburg“. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* 1/2007: 26-28.
- Peters, W. (2007): Die möglichen Risiken des Biomasseanbaus für Natur und Landschaft und ihre öffentliche Wahrnehmung, In: *Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog: Biomasseproduktion – Ein Segen für die Land(wirt)schaft?*, BfN-Skripten Nr. 211, S. 53-58, Bonn.
- Petzold, F. (2007): Chancen und Risiken des Energiepflanzenanbaus für die Landwirtschaft, In: *Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog: Biomasseproduktion – Ein Segen für die Land(wirt)schaft?*, BfN-Skripten Nr. 211, S. 53-58, Bonn.
- Petzold, R.; Feger, K.-H.; Siemer, B. (2006): Standörtliche Potenziale für den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Ackerflächen. *AFZ - der Wald*, 16/2006, 855-857
- Pfützner, B. (2002): ARC/EGMO, In: Barben, M., Hodel, H.-P., Kleeberg, H.-B., Spreafico, M. und Weingartner, R. (Hrsg.): *Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen – Erfahrungen aus den Rheinanliegerstaaten*. Bericht Nr. I-19 der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes-KHR, S. 151-154
- PIK (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung) (2007): Protokoll der Tagung der projektbegleitenden Arbeitsgruppe (PAG) "Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel – Risiken und Handlungsoptionen" am 06.03.2007. Potsdam: PIK.
- Pinstrup-Andersen, P. et al. (1999): *World Food Prospects: Critical Issues for the Early Twenty-First Century*. Washington, D.C.: IFPRI.
- Pinstrup-Andersen, P.; Pandya-Lorch, R.; Rosegrant, M. W. (1999): *World food prospects: Critical issues for the early twenty-first century*. Washington, D.C.: IFPRI.
- Piorr et al. (2007): *Planing Regional Bioenergy Resource Use*, abrufbar unter: <http://balticbiomass.com/daten/downloads/BBN-Handbook-internet%20version.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.10.2008
- Piutti, E. und A. Cescatti (1997): A quantitative analysis of the interactions between climatic response and intraspecific competition in European beech. *Canadian Journal Of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 27(3): 277-284.
- Pölking, A.; Stiepel, B.; Premke-Kraus, M.; Will, J.; Lüdtke, S.; Oppermann, R.; Baumann, A. (2006): Bioenergie und Biogasförderung nach dem neuen EEG und ihre Auswirkungen auf Natur und Landschaft, Wolfenbüttel.
- Pompe, S.; Hanspach, J.; Badeck, F.; Klotz, S.; Thuillier, W.; Kühn, I. (2008): Climate and land use change impacts on plant distribution in Germany. In: *Biology Letters* (2008), S. 564-567.
- PRB (Population Reference Bureau) (2007): *2007 World Population Data Sheet*. Washington, D.C.: PRB.

- Pussinen, A., T. Karjalainen, S. Kellomaki und R. Makipaa (1997): Potential contribution of the forest sector to carbon sequestration in Finland. *Biomass & Bioenergy* 13(6): 377-387.
- Raad voor het Landelijk Gebied (2008): The implementation of the CAP and visions of its future role across 27 EU member states. Utrecht: RAAD
- Raad voor het Landelijk Gebied (2008): The Implementation of the CAP and Visions of its Future Role across 27 EU Member States. Utrecht: RAAD
- Rachimow, C., Pfützner, B., Finke, W. (2005): Veränderungen im Wasserdargebot und in der Wasserverfügbarkeit im Großraum Berlin, In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (Hrsg.): Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbeinzugsgebiet, S. 346-356
- Rammert, U. (2008): Naturschutzfachliches Monitoring von Auswirkungen des Klimawandels. Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- Rashid, H., R. Scholes und N. Aah (Hrsg.) (2005): Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends. The Millennium Ecosystem Assessment Series. Washington, Covelo, London, Island Press. 917 S.
- Rasmussen, L., C. Beier und A. Bergstedt (2002): Experimental manipulations of old pine forest ecosystems to predict the potential tree growth effects of increased CO<sub>2</sub> and temperature in a future climate. *Forest Ecology And Management* 158(1-3): 179-188.
- Rast, G. (2008): Hoch- und Niedrigwasser – Auen als ideale Puffer und Hotspots der Biodiversität? Vortrag auf dem 29. Deutschen Naturschutztag, Karlsruhe: DNT.
- Rath, D., Gädeken, D., Hesse, D., Schlichting, M.C. (1994) Die Wirkung erhöhter Temperaturen auf die Nutztierhaltung. In: Klimaveränderung und Landbewirtschaftung Teil II. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 148, 341-375.
- Reichardt, M., Jürgens, C. (2007): Adoption and perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among the different agricultural target groups. In: Stafford, J. V. (ed.): Precision Agriculture 07: Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, pp. 843-850
- Reichstein, M., A. Rey, A. Freibauer, J. Tenhunen, R. Valentini, J. Banza, P. Casals, Y. F. Cheng, J. M. Grunzweig, J. Irvine, R. Joffre, B. E. Law, D. Loustau, F. Miglietta, W. Oechsel, J. M. Ourcival, J. S. Pereira, A. Peressoti, F. Ponti, Y. Qi, S. Rambal, M. Rayment, J. Romanya, F. Rossi, V. Tedeschi, G. Tirone, M. Xu und D. Yakir (2003): Modeling temporal and large-scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices. *Global Biogeochemical Cycles* 17(4).
- Rennenberg, H., F. Loreto, A. Polle, F. Brill, S. Fares, R. S. Beniwal und A. Gessler (2006): Physiological responses of forest trees to heat and drought. *Plant Biology* 8(5): 556-571.
- Rennenberg, V. H., W. Seiler, R. Matyssek, A. Gessler und J. Kreuzwieser (2004): European beech (*Fagus sylvatica* L.) – a forest tree without future in the south of Central Europe? *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 175(10-11): 210-224.
- Reuters and CRB (Commodity Research Bureau) (2008): Continuous commodity index (CCI) and Reuters-CRB-Indexes. London: Reuters.
- Reuters and CRB (Commodity Research Bureau) (2008): Continuous Commodity Index (CCI) and Reuters-CRB-Indexes. ([www.crbtrader.com/crbindex/](http://www.crbtrader.com/crbindex/) of 22/02/08)
- Riikonen, J., M. M. Lindsberg, T. Holopainen, E. Oksanen, J. Lappi, P. Peltonen und E. Vapaavuori (2004): Silver birch and climate change: variable growth and carbon allocation responses to elevated concentrations of carbon dioxide and ozone. *Tree Physiology* 24(11): 1227-1237.
- Rock, J. (2007): Klimaschutz und Kohlenstoff in Holz - Vergleich verschiedener Strategien. Dissertation. Institut für Geo-Ökologie. Universität Potsdam. 162 Seiten.
- Rock, J. (2007): Klimaschutz und Kohlenstoff in Holz - Vergleich verschiedener Strategien. Dissertation, Institut für Geo-Ökologie, Universität Potsdam, 162 S.
- Rock, J. (2007): Klimaschutz und Kohlenstoff in Holz - Vergleich verschiedener Strategien., Institute of Geo-Ecology, University of Potsdam, Potsdam. 162 S.
- Rock, J. (2008): Klimaschutz und Kohlenstoff in Holz - Vergleich verschiedener Strategien., Institute of Geo-Ecology, University of Potsdam, Potsdam. 162 S.
- Rockel, B., Woth, K. (2007): Extremes of near-surface wind speed over Europe and their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations, In: *Climate Change*, 81, S. 267-280

- Röhle, H.; Hartmann, K.-U.; Steinke, C.; Wolf, H. (2006): Aufstellung von Biomassefunktionen für Kurzumtriebsbestände. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 177. Seite 178-187.
- Röhle, H.; Hartmann, K.-U.; Steinke, C.; Wolf, H. (2006): Aufstellung von Biomassefunktionen für Kurzumtriebsbestände. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 177: 178-187
- Röhrich, C.; Kieselwalter, S.; Groß-Ophoff, A. (2002): Acker- und pflanzenbauliche Untersuchungen zum Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (4).
- Röhrich, C.; Kieselwalter, S.; Groß-Ophoff, A. (2002): Acker- und pflanzenbauliche Untersuchungen zum Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (4)
- Rosegrant, M. W. et al. (2002): *Global Water Outlook to 2025: Averting an Impending Crisis*. Washington, D.C.: IFPRI and Colombo: International Water Management Institute.
- Rosegrant, M. W.; Cai, X.; Cline, S. A. (2002): *Global water outlook to 2025: Averting an impending crisis*. Washington, D.C.: IFPRI and Colombo: International Water Management Institute.
- Rosenzweig, C., Hillel, D. (1998a). Carbon Dioxide, Climate Change and Crop Yields. In: Rosenzweig, C., Hillel, D. (Hrsg.) *Climate Change and the Global Harvest. Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture*. Oxford University Press. Oxford, 70-100.
- Rosenzweig, C., Hillel, D. (1998b): Effects on Weeds, Insects, and Diseases. In: Rosenzweig, C., Hillel, D. (Hrsg.) *Climate Change and the Global Harvest. Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture*. Oxford University Press. Oxford, 101-122.
- Rudloff, B. et al. (2008): Aspekte der Agrarpolitik 2007. In: *Agrarwirtschaft* 57, Heft 1, S. 1-14.
- Runge, C. F.; Senauer, B.; Pardey, P. G.; Rosegrant, M. W. (2003): *Ending hunger in our lifetime*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Ruttan, V.W.; von Witzke, H. (1988): International Agricultural Policy Coordination. In: *Atlantic Community Quarterly* 26, p. 321-329.
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2003): *Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten Kurzumtriebsplantagen mit Pappel und Weide*. Fachmaterial. Dresden.
- SAG (Senatsarbeitsgruppe) (2007) *Koordinierung der Klimawirkungsforschung im Geschäftsbereich des BMELV. Teil 2. Empfehlungen zur künftigen Forschung zu zentralen Fragen der Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Maßnahmen zur Anpassung der Land- und Forstwirtschaft*.
- Saxe, H. und G. Kerstiens (2005): Climate change reverses the competitive balance of ash and beech seedlings under simulated forest conditions. *Plant Biology* 7(4): 375-386.
- Schaber, J., F.-W. Badeck & P. Lasch (1999): Ein Modell der Sukzessionsdynamik europäischer Wälder - Forest Ecosystems in a changing Environment (4C). in: Pelz, D. R., O. Rau & J. Saborowski (Hrsg.) (1999): *Deutscher Verband forstlicher Versuchsanstalten - Sektion forstliche Biometrie und Informatik. 11. Jahrestagung und Internationale biometrische Gesellschaft. Deutsche Region. Arbeitsgruppe Ökologie, Herbstkolloquium*. Freiburg. S. 212-217.
- Schaller, M., Weigel, H.-J. (2008): *Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung*, Braunschweig
- Scherer, D. (2005): Eigenschaften und Ursachen des Stadtklimas. In: *Umweltpanorama* Heft 10 (November 2005).
- Scherer, D. (2007): Viele kleine Parks verbessern Stadtklima. Zitiert in: *Galabaureport*, Oktober 2007, S. 15.
- Schindler, U., Steidl, J., Müller, L., Eulenstein, F., Thiere, J. (2007): Drought risk to agricultural land in Northeast and Central Germany. *J. Plant Nutr. Soil Sc.* 170, 357-362.
- Schmid, S., E. Thurig, E. Kaufmann, H. Lischke und H. Bugmann (2006): Effect of forest management on future carbon pools and fluxes: A model comparison. *Forest Ecology And Management* 237(1-3): 65-82.
- Schmidhuber, J.; Shetty, P. (2005): The nutrition transition to 2030: Why developing countries are likely to bear the major burden. Paper presented at the 97<sup>th</sup> Seminar of the EAAE. Reading: University of Reading.
- Schmidhuber, J.; Shetty, P. (2005): The Nutrition Transition to 2030: Why Developing Countries are Likely to Bear the Major Burden. Paper presented at the 97<sup>th</sup> Seminar of the EAAE. Reading: University of Reading.

- Schmidt, A. (2007): Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Landwirtschaft in Sachsen. Vortrag vom 11. Dezember 2007.  
[http://www.smul.sachsen.de/umwelt/download/klima/Vortrag\\_11.Dez.07.pdf](http://www.smul.sachsen.de/umwelt/download/klima/Vortrag_11.Dez.07.pdf)
- Schmidt, W.; Nietsche, O. (2005): Anforderungen an den landwirtschaftlichen Bodenschutz unter Berücksichtigung der für Sachsen prognostizierten Klimaänderungen. LfL Sachsen.
- Scholz, V. (1999): Perspektiven der Bioenergie im Land Brandenburg, In: Energiepflanzen Nr. III, S. 7-11.
- Scholz, V. (2007): Energiepflanzen im Vergleich - Erträge und Umweltverträglichkeit. Tagungsband. 9. EUROSOLAR-Konferenz "Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt", Potsdam, 16.04.2007-17.04.2007, Potsdam.
- Scholz, V.; Boelcke, B.; Burger, F.; Hofmann, M.; Vetter, A. (2007): Biomasse von sandigen Böden-Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Neue Landwirtschaft (4): 68-73
- Schönwiese, C.-D. (2007): Wird das Klima extremer? – Eine statistische Perspektive. in: Endlicher, W. und F. W. Gerstengabe (Hrsg.) (2007): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Geographisches Institut. S. 60 - 66.
- Schönwiese, C.D., Staeger, T., Jonas, M. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen, abrufbar unter <http://www.umweltbundesamt.de>, zuletzt abgerufen am 10.04.2008
- Schröter, D. et al. (2005): Assessing Vulnerabilities to the Effects of Global Change: An Eight Step Approach. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 10, p. 573-596.
- Schröter, D.; ATEAM members (2004): ATEAM –Final report. Potsdam: PIK.
- Schröter, D.; Polsky, C.; Patt, A. (2005): Assessing vulnerabilities to the effects of global change: An eight step approach. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 10, p. 573-596.
- Schumacher, K. (2007): Introductory remarks for panel II: Biofuels. Paper presented at the IPC Seminar on Sustainability in the Food and Agriculture Sector: Stratford-upon-Avon: IPC.
- Schumacher, K. (2007): Introductory Remarks for Panel II: Biofuels. Paper presented at the IPC Seminar on Sustainability in the Food and Agriculture Sector: Stratford-upon-Avon: IPC.
- Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz (2008): Klimapolitisches Arbeitsprogramm des Senats von Berlin. Berlin: Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2000a): Grüne Innenstadt: BFF-Biotopflächenfaktor. Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2000b): Landschaftsprogramm, Artenschutzprogramm 1994. Unveränderter Nachdruck 2000, Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2004a): Berliner Naturschutzgesetz. Neuausgabe Juni 2004, Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2004b): Landschaftsprogramm, Artenschutzprogramm. Ergänzung 2004, Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2004c): Planwerk Westraum Berlin – Ziele, Strategien und landschaftsplanerisches Leitbild. Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2008a): Klimaschutzinitiativen, Aktivitäten zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung. Besprechungsgrundlage zur Senatssitzung am 08.04.08, Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2008b): Natürlich Berlin! Naturschutz und NATURA 2000-Gebiete in Berlin. Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Skarby, L., H. Ro-Poulsen, F. A. M. Wellburn und L. J. Sheppard (1998): Impacts of ozone on forests: a European perspective. *New Phytologist* **139**(1): 109-122.
- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) (Hrsg.) (2005): Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick.
- Sohnen, B. und R. Sedjo (2006): Carbon sequestration in global forests under different carbon price regimes. *Energy Journal*: 109-126.
- Spekat, A., W. Enke und F. Kreienkamp (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. *Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH, Potsdam*. 149 S.

- Spiecker, H. (2003): Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe-temperate zone. *Journal Of Environmental Management* **67**(1): 55-65.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2007): Klimaschutz durch Biomasse, Berlin.
- Stanners D. & Ph. Bourdeau (Eds.) (1995): Europe's Environment: The Dobris Assessment. European Environment Agency, Copenhagen
- Suckow, F., F.-W. Badeck, P. Lasch & J. Schaber (2001): Nutzung von Level-II-Beobachtungen für Test und Anwendungen des Sukzessionsmodells FORESEE. *Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol.* **35**(2): 84-87.
- Sudfeldt, C. Dröschmeister, R.; Grüneberg, C.; Mitschke, A.; Schöpf H.; Wahl, J. (2007): Vögel in Deutschland 2007. Steckby: Dachverband Deutscher Avifaunisten.
- SV-Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz (2008): Biologische Gewässergüte, abrufbar unter: [http://www.berlin.de/sen/umwelt/wasser/ogewaesser/de/bio\\_guete.shtml](http://www.berlin.de/sen/umwelt/wasser/ogewaesser/de/bio_guete.shtml), zuletzt abgerufen am 20.06.2008
- Sykes, M. T. und I. C. Prentice (1996): Climate change, tree species distributions and forest dynamics: A case study in the mixed conifer northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic Change* **34**(2): 161-177.
- Szymanski, D. (2008): 13. Sitzung der Abteilungsdirektoren für Naturschutz der EU-Mitgliedstaaten und der Kommission am 29. und 30. September in Chambord (Frankreich). Protokoll im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (Bundesratsbeauftragter für Grundsatzfragen des Naturschutzes). Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz.
- Taylor, G., M. J. Tallis, C. P. Giardina, K. E. Percy, F. Miglietta, P. S. Gupta, B. Gioli, C. Calfapietra, B. Gielen, M. E. Kubiske, G. E. Scarascia-Mugnozza, K. Kets, S. P. Long und D. F. Karnosky (2008): Future atmospheric CO2 leads to delayed autumnal senescence. *Global Change Biology* **14**(2): 264-275.
- Textor, B., Unseld, R., Möndel, A., (2007): Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen in Baden-Württemberg.
- Textor, B.; Unseld, R.; Möndel, A. (2007): Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen in Baden-Württemberg.
- Thompson, R. L. (2007): Challenges facing the food and agricultural sector. Urbana-Champaign: University of Illinois.
- Thompson, R. L. (2007): Challenges Facing the Food and Agricultural Sector. Urbana-Champaign: University of Illinois.
- Thomson, A. M. et al. (2005): Climate Change Impacts for the Conterminous USA: An Integrated Assessment – Part 3: Dryland Production of Grain and Forage Crops. In: *Climatic Change* **69**, p. 43-65.
- Thomson, A. M.; Smith, S.; Rosenberg, N.; Izaurralde, R.; Brown, R.; Wigley, T. (2005): Climate change impacts for the conterminous USA: An integrated assessment – Part 3: Dryland production of grain and forage crops. In: *Climatic Change* **69**, p. 43-65.
- Thuiller, W. (2004): Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. In: *Global Change Biology*, **10**, S. 2020-2027.
- Thuiller, W., S. Lavorel, M. T. Sykes und M. B. Araujo (2006): Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe. *Diversity And Distributions* **12**(1): 49-60.
- Tokgoz, S. et al. (2007): Emerging Biofuels: Outlook of Effects on U.S. Grain, Oilseed, and Livestock Markets. Staff Report 07-SR 101. Ames: CARD.
- Tubellio, F. N.; Fischer, G. (2007): Reducing climate change impacts on agriculture: Global and regional effects of mitigation. In: *Technological Forecasting and Social Change* **74**, p. 1030-1056.
- Tubellio, F. N.; Fischer, G. (2007): Reducing Climate Change Impacts on Agriculture: Global and Regional Effects of Mitigation. In: *Technological Forecasting and Social Change* **74**, p. 1030-1056.
- UBA (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen - Schwerpunkt Deutschland. *Climate Change* 07-05.
- UBA (2006a ): UBA-Workshop: Klimaänderungen – Herausforderungen für den Bodenschutz am 28. und 29. September 2005. UBA-Texte 06-06.
- UBA (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen. Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. – 1-27, Dessau.

- UBA (Umweltbundesamt) (2006b): Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Szenarien und nationale Aufgaben. Hintergrundpapier Umweltbundesamt.
- UBA (Umweltbundesamt) (2008): Klimafolgen und Anpassung im Bereich Biodiversität. Dessau: UBA.
- UBA(a) (2006): Hintergrundpapier „Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland – regionale Szenarien und nationale Aufgaben, Dessau
- UBA(b) (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen – Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG, Dessau
- Uckert, G.; Schuler, J.; Matzdorf, B.; Lorenz, J.; Hucke, I.; Hildebrand, S. (2007): Grünes Gold im Osten?! Flächenansprüche von Biomassepfaden durch klimabedingte Ausbauziele und Handlungsoptionen für die Raumordnung, Müncheberg.
- Ulbrich, U., Christoph, M. (1999): A shift of the NAO and increasing storm track activity over Europe due to anthropogenic greenhouse gas forcing, In: *Climate Dynamics*, 15, S. 551-559
- UN (United Nations) (2005): *World Population Assessment 2004*. New York: UN-Population.
- UN (United Nations) (2007): *The World at Six Billion*. [www.un.org/esa/population/sixbillion/sixbilpart1.pdf](http://www.un.org/esa/population/sixbillion/sixbilpart1.pdf) of 20/02/08).
- United States Census Bureau (2008): *Total Midyear Population for the World: 1950-2050*. [www.census.gov/ipc/www/idb/worldpop.html](http://www.census.gov/ipc/www/idb/worldpop.html) of 25/01/08
- USDA (United States Department of Agriculture) (2007): *USDA Agricultural Projections to 2015*. Washington, D.C: USDA.
- USDA (United States Department of Agriculture) (2008): *USDA Agricultural Projections to 2016*. Washington, D.C: USDA.
- USF (Umweltsystemforschung der Universität Kassel) (2005): *Klimawandel und Landwirtschaft in Hessen, Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Landwirtschaftliche Erträge*. Abschlussbericht des Wissenschaftlichen Zentrums für Umweltsystemforschung der Universität Kassel. INKLIM Baustein 2.
- Vohland, K.; Zimmermann-Timm, H.; Kühling, M. (2007): *Klima im Wandel: Ein Ausblick auf Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin*. In: *Naturmagazin* 4/2007. S. 4-9.
- von Braun (2007): *The World Food Situation: New Driving Forces and Required Actions*. Washington, D.C.: IFPRI.
- von Lampe, M. (2007): *Economics and Agricultural Market Impacts of Growing Biofuel Production*. In: *Agrarwirtschaft* 56, p. 232-237.
- von Witzke, H. (2007): *Landwirtschaft in der ökologischen Landwirtschaft: Sicherung der Welternährung vs. Klimaschutz und Bioenergie*. LGF Working Paper 80. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.
- von Witzke, H. (2008): *Teure Lebensmittel: Strohfeuer oder neuer Megatrend auf den Weltagrarmärkten?* Humboldt-Universität zu Berlin: Berlin.
- von Witzke, H.; Noleppa, S.; Schwarz, G. (2008): *Global Agricultural Market Trends and Their Impacts on European Union Agriculture*. Working Paper 84. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.
- Voßhenrich, H. H., Reckleben, Y. (2008): *Teilflächenspezifisch angepaßte Bodenbearbeitungsintensität*. Vortrag auf der Abschlußtagung Precision Farming kommt! Herausforderung für Praxis, Ausbildung, Beratung und Verwaltung.  
[http://www.preagro.de/docs/S4\\_Vosshenrich\\_Reckleben.pdf](http://www.preagro.de/docs/S4_Vosshenrich_Reckleben.pdf)
- Waite, R. (2008): *Analysis from Brussels: What is the CAP Health Check?*. In: *FarmPolicy.com – A Summary of Farm Policy News*. 21. Mai 2008.
- Waite, R. (2008): *Analysis from Brussels: What is the CAP Health Check?*. In: *FarmPolicy.com – A Summary of Farm Policy News*. 21. Mai 2008.
- 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)*, In: *Journal of Hydrology* 346, S.1-17
- WBA - Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2007): *„Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik“* abrufbar unter: [http://www.bmelv.de/nn\\_751706/SharedDocs/downloads/14-WirUeberUns/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA,templateId=renderPrint.html](http://www.bmelv.de/nn_751706/SharedDocs/downloads/14-WirUeberUns/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA,templateId=renderPrint.html), zuletzt abgerufen am 30.10.2008

- Wechsung, F. (2008): Thesen zu den Folgen des globalen Wandels auf Wasserverfügbarkeit und Wassernutzungskonflikte im Elbe-Einzugsgebiet, abrufbar unter: [www.glowa-elbe.de/pdf/thesen.pdf](http://www.glowa-elbe.de/pdf/thesen.pdf), zuletzt abgerufen am 15.06.2008
- Wechsung, F., Becker, A., Gräfe P. (Hrsg.) (2005): Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Band 6. Berlin.
- Wechsung, F., Lüttge, A. (2007): Weltweiter Klimawandel – Auswirkungen auf den Agrarstandort Deutschland. DLG Pflanzenbautagung 2007. Bernburg.
- Weigel, H.J. (2004): Gesunde Pflanzen unter zukünftigem Klima, wie beeinflusst der Klimawandel die Pflanzenproduktion? Gesunde Pflanzen.
- Weigel, H.J., Pacholski, A., Waloszczyk, K., Frühauf, C., Manderscheid, R., Anderson, T.H., Heinemeyer, O., Kleikamp, B., Helal, M., Burkart, S., Schrader, S., Sticht, C., Giesemann, A. (2006): Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on barley, sugar beet and wheat in a rotation, examples from the Braunschweig carbon project. *Landbauforschung Völkenrode* 56 (3-4), 101-115.
- Weigel, H.J., Schaller, M. (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. *Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft* 316. Braunschweig.
- Wenzel, V. (2005): Integrierende Studien zum Berliner Wasserhaushalt, In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. : Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbeinzugsgebiet, S. 325-345
- Werner, A.; Vetter, A.; Reinhold G. (2006): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- Werner, P.C., Gerstengarbe, F.W. (2007): Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten? in: Endlicher, W. und F. W. Gerstengarbe (Hrsg.) (2007): *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*. Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Geographisches Institut. S. 56 - 59.
- Werner, P.C., Gerstengarbe, F.W. (1997): A method to estimate the statistical confidence of cluster separation, In: *Theoretical Applied Climatology*, 57, S. 103-110
- Wessolek, G., Asseng, S. (2006): Trade-off between wheat yield and drainage under current and climate change conditions in northeast Germany. *Europ. J. Agronomy* 24 (2006) 333–342
- Wessolek, G., Schwärzel, K., Renger, M., Sauerbrey, R., Siewert, C. (2002): Soil hydrology and CO<sub>2</sub> mineralization of peat soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165, 494–500.
- Westcott, P. C. (2007): U.S. ethanol expansion driving changes throughout the agricultural sector. In: *Amber Waves* 5 (4).
- Westcott, P. C. (2007): U.S. Ethanol Expansion Driving Changes throughout the Agricultural Sector. In: *Amber Waves* 5 (4).
- Wiggering, H., Eulenstein, F., Augustin, J. (Hrsg.) (2005): Entwicklung eines integrierten Klimaschutzmanagements für Brandenburg. *Handlungsfeld Landwirtschaft*. [http://z2.zalf.de/oa/1773\\_index.htm](http://z2.zalf.de/oa/1773_index.htm).
- Willms, M., Eulenstein, F., Müller, L., Schindler, U., Mirschel, W., Fischer, A. (2006): ZALF-Gutachten zum Wasserhaushalt. Anhang zu Daten zum integrierten Klimaschutzmanagement im Land Brandenburg. *Fachbeiträge des Landesumweltamtes Heft Nr. 104*
- Worldbank (2007): *World development report*. Washington, D.C.: Worldbank.
- Worldbank (2007): *World Development Report*. Washington, D.C.: Worldbank.
- WRRL (2007): Informationen zur EG-Wasserrahmenrichtlinie, abrufbar unter [http://www.wrrl-info.de/docs/wrrl\\_info14.pdf](http://www.wrrl-info.de/docs/wrrl_info14.pdf), zuletzt abgerufen am 03.06.2008
- Wunram (2006): Regional climate modelling with CLM, *TerraFLOPS Newsletter* 6, 5-6, Modelle und Daten, DKRZ
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., Cramer, W. (2005): *Climate Change in Germany*, abrufbar unter <http://www.umweltbundesamt.de>, zuletzt abgerufen am 01.04.2008
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., Cramer, W. (2005): *Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme*.

- Zebisch, M.; Grothmann, T.; Schröter, D.; Haase, C.; Fritsch, U.; Cramer, W. (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Reihe: Climate Change 08/05. Dessau: UBA.
- Zeitz, J. & Löschner, F. (2007): Berechnung der Grundwasserneubildung unter veränderten Klimabedingungen – Im Auftrag der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Berlin, unveröff.
- Zhao, Y. C. et al. (2005): Impacts of Present and Future Climate Variability on Agriculture and Forestry in the Humid and Sub-humid Tropics. In: Climatic Change 70, p. 73-116
- Zhao, Y. C. Wang, C.; Wang, S.; Tibig, L. (2005): Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the Humid and Sub-humid Tropics. In: Climatic Change 70, p. 73-116

PIK Report-Reference:

- No. 1 3. Deutsche Klimatagung, Potsdam 11.-14. April 1994  
Tagungsband der Vorträge und Poster (April 1994)
- No. 2 Extremer Nordsommer '92  
Meteorologische Ausprägung, Wirkungen auf naturnahe und vom Menschen beeinflusste Ökosysteme, gesellschaftliche Perzeption und situationsbezogene politisch-administrative bzw. individuelle Maßnahmen (Vol. 1 - Vol. 4)  
H.-J. Schellnhuber, W. Enke, M. Flechsig (Mai 1994)
- No. 3 Using Plant Functional Types in a Global Vegetation Model  
W. Cramer (September 1994)
- No. 4 Interannual variability of Central European climate parameters and their relation to the large-scale circulation  
P. C. Werner (Oktober 1994)
- No. 5 Coupling Global Models of Vegetation Structure and Ecosystem Processes - An Example from Arctic and Boreal Ecosystems  
M. Plöchl, W. Cramer (Oktober 1994)
- No. 6 The use of a European forest model in North America: A study of ecosystem response to climate gradients  
H. Bugmann, A. Solomon (Mai 1995)
- No. 7 A comparison of forest gap models: Model structure and behaviour  
H. Bugmann, Y. Xiaodong, M. T. Sykes, Ph. Martin, M. Lindner, P. V. Desanker, S. G. Cumming (Mai 1995)
- No. 8 Simulating forest dynamics in complex topography using gridded climatic data  
H. Bugmann, A. Fischlin (Mai 1995)
- No. 9 Application of two forest succession models at sites in Northeast Germany  
P. Lasch, M. Lindner (Juni 1995)
- No. 10 Application of a forest succession model to a continentality gradient through Central Europe  
M. Lindner, P. Lasch, W. Cramer (Juni 1995)
- No. 11 Possible Impacts of global warming on tundra and boreal forest ecosystems - Comparison of some biogeochemical models  
M. Plöchl, W. Cramer (Juni 1995)
- No. 12 Wirkung von Klimaveränderungen auf Waldökosysteme  
P. Lasch, M. Lindner (August 1995)
- No. 13 MOSES - Modellierung und Simulation ökologischer Systeme - Eine Sprachbeschreibung mit Anwendungsbeispielen  
V. Wenzel, M. Kücken, M. Flechsig (Dezember 1995)
- No. 14 TOYS - Materials to the Brandenburg biosphere model / GAIA  
Part 1 - Simple models of the "Climate + Biosphere" system  
Yu. Svirezhev (ed.), A. Block, W. v. Bloh, V. Brovkin, A. Ganopolski, V. Petoukhov, V. Razzhevaikin (Januar 1996)
- No. 15 Änderung von Hochwassercharakteristiken im Zusammenhang mit Klimaänderungen - Stand der Forschung  
A. Bronstert (April 1996)
- No. 16 Entwicklung eines Instruments zur Unterstützung der klimapolitischen Entscheidungsfindung  
M. Leimbach (Mai 1996)
- No. 17 Hochwasser in Deutschland unter Aspekten globaler Veränderungen - Bericht über das DFG-Rundgespräch am 9. Oktober 1995 in Potsdam  
A. Bronstert (ed.) (Juni 1996)
- No. 18 Integrated modelling of hydrology and water quality in mesoscale watersheds  
V. Krysanova, D.-I. Müller-Wohlfeil, A. Becker (Juli 1996)
- No. 19 Identification of vulnerable subregions in the Elbe drainage basin under global change impact  
V. Krysanova, D.-I. Müller-Wohlfeil, W. Cramer, A. Becker (Juli 1996)
- No. 20 Simulation of soil moisture patterns using a topography-based model at different scales  
D.-I. Müller-Wohlfeil, W. Lahmer, W. Cramer, V. Krysanova (Juli 1996)
- No. 21 International relations and global climate change  
D. Sprinz, U. Luterbacher (1st ed. July, 2nd ed. December 1996)
- No. 22 Modelling the possible impact of climate change on broad-scale vegetation structure - examples from Northern Europe  
W. Cramer (August 1996)

- No. 23 A method to estimate the statistical security for cluster separation  
F.-W. Gerstengarbe, P.C. Werner (Oktober 1996)
- No. 24 Improving the behaviour of forest gap models along drought gradients  
H. Bugmann, W. Cramer (Januar 1997)
- No. 25 The development of climate scenarios  
P.C. Werner, F.-W. Gerstengarbe (Januar 1997)
- No. 26 On the Influence of Southern Hemisphere Winds on North Atlantic Deep Water Flow  
S. Rahmstorf, M. H. England (Januar 1977)
- No. 27 Integrated systems analysis at PIK: A brief epistemology  
A. Bronstert, V. Brovkin, M. Krol, M. Lüdeke, G. Petschel-Held, Yu. Svirezhev, V. Wenzel (März 1997)
- No. 28 Implementing carbon mitigation measures in the forestry sector - A review  
M. Lindner (Mai 1997)
- No. 29 Implementation of a Parallel Version of a Regional Climate Model  
M. Kücken, U. Schättler (Oktober 1997)
- No. 30 Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Overview and key results  
W. Cramer, D. W. Kicklighter, A. Bondeau, B. Moore III, G. Churkina, A. Ruimy, A. Schloss, participants of "Potsdam '95" (Oktober 1997)
- No. 31 Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Analysis of the seasonal behaviour of NPP, LAI, FPAR along climatic gradients across ecotones  
A. Bondeau, J. Kaduk, D. W. Kicklighter, participants of "Potsdam '95" (Oktober 1997)
- No. 32 Evaluation of the physiologically-based forest growth model FORSANA  
R. Grote, M. Erhard, F. Suckow (November 1997)
- No. 33 Modelling the Global Carbon Cycle for the Past and Future Evolution of the Earth System  
S. Franck, K. Kossacki, Ch. Bounama (Dezember 1997)
- No. 34 Simulation of the global bio-geophysical interactions during the Last Glacial Maximum  
C. Kubatzki, M. Claussen (Januar 1998)
- No. 35 CLIMBER-2: A climate system model of intermediate complexity. Part I: Model description and performance for present climate  
V. Petoukhov, A. Ganopolski, V. Brovkin, M. Claussen, A. Eliseev, C. Kubatzki, S. Rahmstorf (Februar 1998)
- No. 36 Geocybernetics: Controlling a rather complex dynamical system under uncertainty  
H.-J. Schellnhuber, J. Kropp (Februar 1998)
- No. 37 Untersuchung der Auswirkungen erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf Weizenbestände des Free-Air Carbondioxid Enrichment (FACE) - Experimentes Maricopa (USA)  
T. Kartschall, S. Grossman, P. Michaelis, F. Wechsung, J. Gräfe, K. Waloszczyk, G. Wechsung, E. Blum, M. Blum (Februar 1998)
- No. 38 Die Berücksichtigung natürlicher Störungen in der Vegetationsdynamik verschiedener Klimagebiete  
K. Thonicke (Februar 1998)
- No. 39 Decadal Variability of the Thermohaline Ocean Circulation  
S. Rahmstorf (März 1998)
- No. 40 SANA-Project results and PIK contributions  
K. Bellmann, M. Erhard, M. Flechsig, R. Grote, F. Suckow (März 1998)
- No. 41 Umwelt und Sicherheit: Die Rolle von Umweltschwellenwerten in der empirisch-quantitativen Modellierung  
D. F. Sprinz (März 1998)
- No. 42 Reversing Course: Germany's Response to the Challenge of Transboundary Air Pollution  
D. F. Sprinz, A. Wahl (März 1998)
- No. 43 Modellierung des Wasser- und Stofftransportes in großen Einzugsgebieten. Zusammenstellung der Beiträge des Workshops am 15. Dezember 1997 in Potsdam  
A. Bronstert, V. Krysanova, A. Schröder, A. Becker, H.-R. Bork (eds.) (April 1998)
- No. 44 Capabilities and Limitations of Physically Based Hydrological Modelling on the Hillslope Scale  
A. Bronstert (April 1998)
- No. 45 Sensitivity Analysis of a Forest Gap Model Concerning Current and Future Climate Variability  
P. Lasch, F. Suckow, G. Bürger, M. Lindner (Juli 1998)
- No. 46 Wirkung von Klimaveränderungen in mitteleuropäischen Wirtschaftswäldern  
M. Lindner (Juli 1998)
- No. 47 SPRINT-S: A Parallelization Tool for Experiments with Simulation Models  
M. Flechsig (Juli 1998)

- No. 48 The Odra/Oder Flood in Summer 1997: Proceedings of the European Expert Meeting in Potsdam, 18 May 1998  
A. Bronstert, A. Ghazi, J. Hladny, Z. Kundzewicz, L. Menzel (eds.) (September 1998)
- No. 49 Struktur, Aufbau und statistische Programmbibliothek der meteorologischen Datenbank am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung  
H. Österle, J. Glauer, M. Denhard (Januar 1999)
- No. 50 The complete non-hierarchical cluster analysis  
F.-W. Gerstengarbe, P. C. Werner (Januar 1999)
- No. 51 Struktur der Amplitudengleichung des Klimas  
A. Hauschild (April 1999)
- No. 52 Measuring the Effectiveness of International Environmental Regimes  
C. Helm, D. F. Sprinz (Mai 1999)
- No. 53 Untersuchung der Auswirkungen erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen innerhalb des Free-Air Carbon Dioxide Enrichment-Experimentes: Ableitung allgemeiner Modelllösungen  
T. Kartschall, J. Gräfe, P. Michaelis, K. Waloszczyk, S. Grossman-Clarke (Juni 1999)
- No. 54 Flächenhafte Modellierung der Evapotranspiration mit TRAIN  
L. Menzel (August 1999)
- No. 55 Dry atmosphere asymptotics  
N. Botta, R. Klein, A. Almgren (September 1999)
- No. 56 Wachstum von Kiefern-Ökosystemen in Abhängigkeit von Klima und Stoffeintrag - Eine regionale Fallstudie auf Landschaftsebene  
M. Erhard (Dezember 1999)
- No. 57 Response of a River Catchment to Climatic Change: Application of Expanded Downscaling to Northern Germany  
D.-I. Müller-Wohlfel, G. Bürger, W. Lahmer (Januar 2000)
- No. 58 Der "Index of Sustainable Economic Welfare" und die Neuen Bundesländer in der Übergangsphase  
V. Wenzel, N. Herrmann (Februar 2000)
- No. 59 Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems (WISE, ENV4-CT97-0448)  
German report  
M. Flechsig, K. Gerlinger, N. Herrmann, R. J. T. Klein, M. Schneider, H. Sterr, H.-J. Schellnhuber (Mai 2000)
- No. 60 The Need for De-Aliasing in a Chebyshev Pseudo-Spectral Method  
M. Uhlmann (Juni 2000)
- No. 61 National and Regional Climate Change Impact Assessments in the Forestry Sector - Workshop Summary and Abstracts of Oral and Poster Presentations  
M. Lindner (ed.) (Juli 2000)
- No. 62 Bewertung ausgewählter Waldfunktionen unter Klimaänderung in Brandenburg  
A. Wenzel (August 2000)
- No. 63 Eine Methode zur Validierung von Klimamodellen für die Klimawirkungsforschung hinsichtlich der Wiedergabe extremer Ereignisse  
U. Böhm (September 2000)
- No. 64 Die Wirkung von erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Transpiration eines Weizenbestandes unter Berücksichtigung von Wasser- und Stickstofflimitierung  
S. Grossman-Clarke (September 2000)
- No. 65 European Conference on Advances in Flood Research, Proceedings, (Vol. 1 - Vol. 2)  
A. Bronstert, Ch. Bismuth, L. Menzel (eds.) (November 2000)
- No. 66 The Rising Tide of Green Unilateralism in World Trade Law - Options for Reconciling the Emerging North-South Conflict  
F. Biermann (Dezember 2000)
- No. 67 Coupling Distributed Fortran Applications Using C++ Wrappers and the CORBA Sequence Type  
T. Slawig (Dezember 2000)
- No. 68 A Parallel Algorithm for the Discrete Orthogonal Wavelet Transform  
M. Uhlmann (Dezember 2000)
- No. 69 SWIM (Soil and Water Integrated Model), User Manual  
V. Krysanova, F. Wechsung, J. Arnold, R. Srinivasan, J. Williams (Dezember 2000)
- No. 70 Stakeholder Successes in Global Environmental Management, Report of Workshop, Potsdam, 8 December 2000  
M. Welp (ed.) (April 2001)

- No. 71 GIS-gestützte Analyse globaler Muster anthropogener Waldschädigung - Eine sektorale Anwendung des Syndromkonzepts  
M. Cassel-Gintz (Juni 2001)
- No. 72 Wavelets Based on Legendre Polynomials  
J. Fröhlich, M. Uhlmann (Juli 2001)
- No. 73 Der Einfluß der Landnutzung auf Verdunstung und Grundwasserneubildung - Modellierungen und Folgerungen für das Einzugsgebiet des Glan  
D. Reichert (Juli 2001)
- No. 74 Weltumweltpolitik - Global Change als Herausforderung für die deutsche Politikwissenschaft  
F. Biermann, K. Dingwerth (Dezember 2001)
- No. 75 Angewandte Statistik - PIK-Weiterbildungsseminar 2000/2001  
F.-W. Gerstengarbe (Hrsg.) (März 2002)
- No. 76 Zur Klimatologie der Station Jena  
B. Orłowsky (September 2002)
- No. 77 Large-Scale Hydrological Modelling in the Semi-Arid North-East of Brazil  
A. Güntner (September 2002)
- No. 78 Phenology in Germany in the 20th Century: Methods, Analyses and Models  
J. Schaber (November 2002)
- No. 79 Modelling of Global Vegetation Diversity Pattern  
I. Venevskaia, S. Venevsky (Dezember 2002)
- No. 80 Proceedings of the 2001 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change "Global Environmental Change and the Nation State"  
F. Biermann, R. Brohm, K. Dingwerth (eds.) (Dezember 2002)
- No. 81 POTSDAM - A Set of Atmosphere Statistical-Dynamical Models: Theoretical Background  
V. Petoukhov, A. Ganopolski, M. Claussen (März 2003)
- No. 82 Simulation der Siedlungsflächenentwicklung als Teil des Globalen Wandels und ihr Einfluß auf den Wasserhaushalt im Großraum Berlin  
B. Ströbl, V. Wenzel, B. Pfützner (April 2003)
- No. 83 Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven  
F.-W. Gerstengarbe, F. Badeck, F. Hattermann, V. Krysanova, W. Lahmer, P. Lasch, M. Stock, F. Suckow, F. Wechsung, P. C. Werner (Juni 2003)
- No. 84 Well Balanced Finite Volume Methods for Nearly Hydrostatic Flows  
N. Botta, R. Klein, S. Langenberg, S. Lützenkirchen (August 2003)
- No. 85 Orts- und zeitdiskrete Ermittlung der Sickerwassermenge im Land Brandenburg auf der Basis flächendeckender Wasserhaushaltsberechnungen  
W. Lahmer, B. Pfützner (September 2003)
- No. 86 A Note on Domains of Discourse - Logical Know-How for Integrated Environmental Modelling, Version of October 15, 2003  
C. C. Jaeger (Oktober 2003)
- No. 87 Hochwasserrisiko im mittleren Neckarraum - Charakterisierung unter Berücksichtigung regionaler Klimaszenarien sowie dessen Wahrnehmung durch befragte Anwohner  
M. Wolff (Dezember 2003)
- No. 88 Abflußentwicklung in Teileinzugsgebieten des Rheins - Simulationen für den Ist-Zustand und für Klimaszenarien  
D. Schwandt (April 2004)
- No. 89 Regionale Integrierte Modellierung der Auswirkungen von Klimaänderungen am Beispiel des semi-ariden Nordostens von Brasilien  
A. Jaeger (April 2004)
- No. 90 Lebensstile und globaler Energieverbrauch - Analyse und Strategieansätze zu einer nachhaltigen Energiestruktur  
F. Reusswig, K. Gerlinger, O. Edenhofer (Juli 2004)
- No. 91 Conceptual Frameworks of Adaptation to Climate Change and their Applicability to Human Health  
H.-M. Füssel, R. J. T. Klein (August 2004)
- No. 92 Double Impact - The Climate Blockbuster 'The Day After Tomorrow' and its Impact on the German Cinema Public  
F. Reusswig, J. Schwarzkopf, P. Polenz (Oktober 2004)
- No. 93 How Much Warming are we Committed to and How Much Can be Avoided?  
B. Hare, M. Meinshausen (Oktober 2004)

- No. 94 Urbanised Territories as a Specific Component of the Global Carbon Cycle  
A. Svirejeva-Hopkins, H.-J. Schellnhuber (Januar 2005)
- No. 95 GLOWA-Elbe I - Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet  
F. Wechsung, A. Becker, P. Gräfe (Hrsg.) (April 2005)
- No. 96 The Time Scales of the Climate-Economy Feedback and the Climatic Cost of Growth  
S. Hallegatte (April 2005)
- No. 97 A New Projection Method for the Zero Froude Number Shallow Water Equations  
S. Vater (Juni 2005)
- No. 98 Table of EMICs - Earth System Models of Intermediate Complexity  
M. Claussen (ed.) (Juli 2005)
- No. 99 KLARA - Klimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung  
M. Stock (Hrsg.) (Juli 2005)
- No. 100 Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-2004) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky  
6., verbesserte und ergänzte Auflage  
F.-W. Gerstengarbe, P. C. Werner (September 2005)
- No. 101 An Asymptotic, Nonlinear Model for Anisotropic, Large-Scale Flows in the Tropics  
S. Dolaptchiev (September 2005)
- No. 102 A Long-Term Model of the German Economy:  $lagom^{d\_sim}$   
C. C. Jaeger (Oktober 2005)
- No. 103 Structuring Distributed Relation-Based Computations with SCDRC  
N. Botta, C. Ionescu, C. Linstead, R. Klein (Oktober 2006)
- No. 104 Development of Functional Irrigation Types for Improved Global Crop Modelling  
J. Rohwer, D. Gerten, W. Lucht (März 2007)
- No. 105 Intra-Regional Migration in Formerly Industrialised Regions: Qualitative Modelling of Household Location Decisions as an Input to Policy and Plan Making in Leipzig/Germany and Wirral/Liverpool/UK  
D. Reckien (April 2007)
- No. 106 Perspektiven der Klimaänderung bis 2050 für den Weinbau in Deutschland (Klima 2050) -  
Schlußbericht zum FDW-Vorhaben: Klima 2050  
M. Stock, F. Badeck, F.-W. Gerstengarbe, D. Hoppmann, T. Kartschall, H. Österle, P. C. Werner,  
M. Wodinski (Juni 2007)
- No. 107 Climate Policy in the Coming Phases of the Kyoto Process: Targets, Instruments, and the Role  
of Cap and Trade Schemes - Proceedings of the International Symposium, February 20-21,  
2006, Brussels  
M. Welp, L. Wicke, C. C. Jaeger (eds.) (Juli 2007)
- No. 108 Correlation Analysis of Climate Variables and Wheat Yield Data on Various Aggregation Levels  
in Germany and the EU-15 Using GIS and Statistical Methods, with a Focus on Heat Wave  
Years  
T. Sterzel (Juli 2007)
- No. 109 MOLOCH - Ein Strömungsverfahren für inkompressible Strömungen - Technische Referenz 1.0  
M. Münch (Januar 2008)
- No. 110 Rationing & Bayesian Expectations with Application to the Labour Market  
H. Förster (Februar 2008)
- No. 111 Finding a Pareto-Optimal Solution for Multi-Region Models Subject to Capital Trade and  
Spillover Externalities  
M. Leimbach, K. Eisenack (November 2008)
- No. 112 Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel  
F. Wechsung, F.-W. Gerstengarbe, P. Lasch, A. Lüttger (Hrsg.) (Dezember 2008)
- No. 113 Klimawandel und Kulturlandschaft Berlin  
H. Lotze-Campen, L. Claussen, A. Dosch, S. Noleppa, J. Rock, J. Schuler, G. Uckert  
(Juni 2009)