

## **Klimawandel in Mitteldeutschland und Risiken für die Land- und Forstwirtschaft**

Von JOHANNES FRANKE, Tharandt

Mit 11 Abbildungen

### **Abstract**

#### **Global change in mid-Germany and risks for agriculture and silviculture**

Despite general agreement on the fact of climate change, its extent and rate are still under debate. The complexity of the climate system and the unknown economic developments of the future complicate climate change projections. However, the trend to further warming is clear and some consequences are already visible. These consequences of climate change are discussed with the goal of minimising risks and identifying opportunities.

In Middle Germany (Saxony, Saxony-Anhalt, Thuringia) the most significant change will be the enhancement of dry periods during the growing season in concert with an intensification of heavy precipitation. This results in a furthermore reduced availability of precipitation in summer with complex consequences for the regional water budget. Having in mind environmental properties like soil and orography as well as the current land use (mainly agriculture and forestry) several regions of Middle Germany will be characterized by high vulnerability. In order to strengthen the sustainable development in Middle Germany support programmes and planning processes should rely on guiding principles based on adaption to local climate change.

### **Zusammenfassung**

Zwar ist unumstritten, dass wir bereits heute einen Klimawandel beobachten, doch Ausmaß und Geschwindigkeit sind weiter unsicher. Die Komplexität des Klimasystems und die unbekanntes zukünftigen ökonomischen Entwicklungen erschweren eine Aussage zum Klimawandel. Jedoch ist die allgemeine Richtung (Erwärmung) klar und einige Klimafolgen sind bereits sichtbar. Diese Folgen werden mit dem Ziel diskutiert, Risiken zu vermeiden und Chancen zu nutzen.

In Mitteldeutschland (Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen) steht hier eine markante Zunahme der Trockenheit während der pflanzenaktiven Phase kombiniert mit einer Intensivierung der Starkniederschläge im Fokus. Dies stellt eine Verschärfung der ohnehin angespannten Verfügbarkeit von Niederschlagswasser im Sommer dar und hat unvermeidlich komplexe Auswirkungen auf den regionalen Wasserhaushalt. Vor dem Hintergrund der natur-

räumlichen Ausstattung (Verteilung von Böden und Orographie) und der Flächennutzung (vor allem Land- und Forstwirtschaft) entstehen in Mitteldeutschland Regionen mit hoher Vulnerabilität. Diese sollten in Förder- und Planungsprozessen durch ein klimarelevantes Leitbild berücksichtigt werden, um die nachhaltige Entwicklung in Mitteldeutschland zu stärken.

### **Keywords**

Climate change, risks, agriculture, forestry, Middle Germany.

### **1 Einleitung**

Im Rahmen des Workshops „Klimawandel – Veränderungen der Areale bei Fledermausarten in Deutschland?“ im März 2009 in Roßla wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf Fledermauspopulationen diskutiert. Aus klimatologischer Sicht verursacht ein langfristiger Temperaturanstieg Wanderungen und eine Verlängerung der aktiven Phase von Fledermausarten. Letztere geschehen unter anderem vor dem Hintergrund einer Verlängerung des Nahrungsangebots im Jahr, was eine Verkürzung der lebensnotwendigen Winterruhe zur Folge hat. Überlagerung findet dieser übergeordnete Trend durch eine Zunahme witterungsbedingter Extreme.

Der vorliegende Text beschreibt in komprimierter Form Ursachen des Klimawandels und stellt die gegenwärtig bereits zu beobachtenden sowie für eine nähere Klimazukunft möglichen Änderungssignale in Mitteldeutschland dar. Ergänzend werden Risiken des Klimawandels für die Land- und Forstwirtschaft abgeleitet, da hier eine direkte Einflussnahme auf den Lebensraum von Fledermausarten (Betroffenheit) besteht.

## 2 Globales Klima und Ursachen für dessen Änderungen

Laut dem 4. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von 2007 hat die global gemittelte Temperatur der bodennahen Luft um  $0,7^{\circ}\text{C}$  während der letzten 100 Jahre zugenommen (Abb. 1), was einen globalen Klimawandel mit seinen regional differenzierten Auswirkungen zur Folge hat. Wissenschaftlicher Konsens besteht dahingehend, dass die wesentliche Ursache für die Erwärmung eine anthropogen bedingte Zunahme der atmosphärischen Konzentration klimarelevanter Treibhausgase (u. a. Kohlendioxid, Methan, Lachgas) ist (s. Abb. 4). Man spricht hier von einer anthropogen bedingten Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes. Weiterhin ist eine Fortsetzung des Erwärmungstrends um weitere  $1,1$  bis  $6,4^{\circ}\text{C}$  bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wahrscheinlich (Abb. 1).

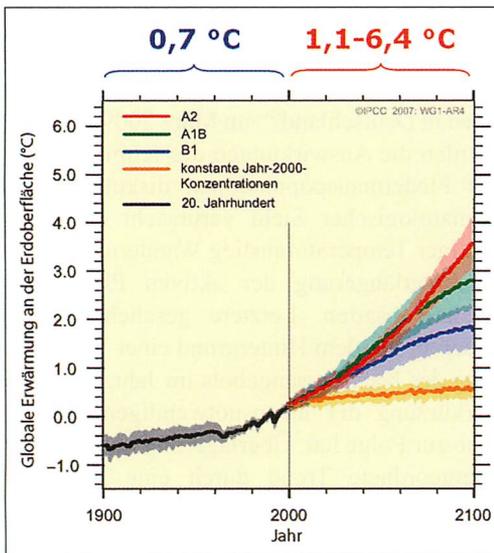


Abb. 1. Globale Erwärmung ( $^{\circ}\text{C}$ ) im 20. und 21. Jahrhundert.

Klimaänderungen, d. h. der Übergang zu einem neuen Gleichgewichtszustand, sind durch Änderungen in der Eintrittswahrscheinlichkeit witterungsbedingter Extreme begleitet. Die Ausprägung des Änderungssignals, d. h. Verschiebungen im Mittelwert, Änderungen im Schwankungsverhalten oder eine Überla-

gerung aus beiden, hat hier differenzierenden Einfluss (Abb. 2). Änderungssignale ergeben sich aus dem Vergleich von Klimazuständen, d. h. von Statistiken der Klimatelemente für definierte Zeitintervalle (z. B. 30jährige Klimanormalperioden), und haben neben einer zeitlichen auch eine räumliche Struktur.

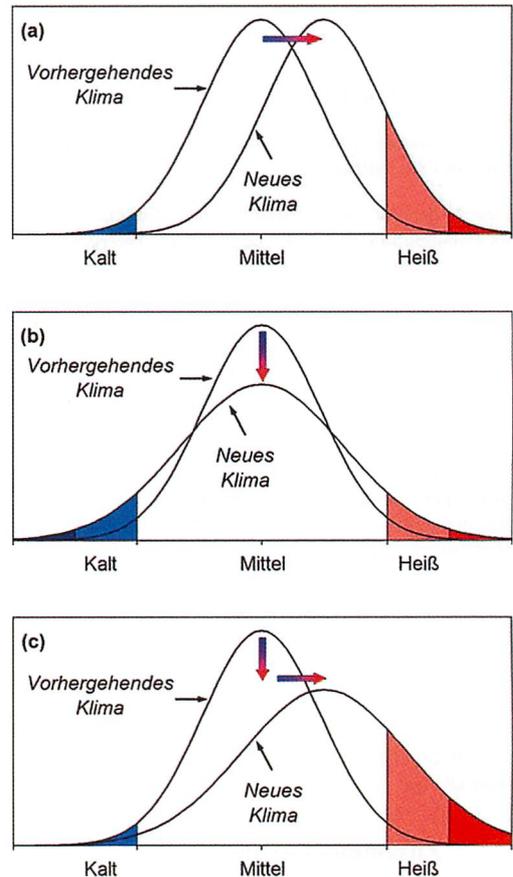


Abb. 2. Schematische Darstellung der Auswirkungen auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremwerten der Temperatur bei Änderung der Verteilungsparameter einer Gaußschen Normalverteilung, a) Zunahme des Mittelwertes, b) Zunahme der Streuung, c) Zunahme von Mittelwert und Streuung.

Eine Interpretation von Klimaänderungen basiert auf der Identifikation von skaligen und zeitlich überlagerten Ursachenkomplexen, was auch eine Separierung in natürliche und anthropogen bedingte Anteile bedeutet (Abb. 3, 4). Klimaänderungen können neben deterministischen auch stochastische Anteile ha-

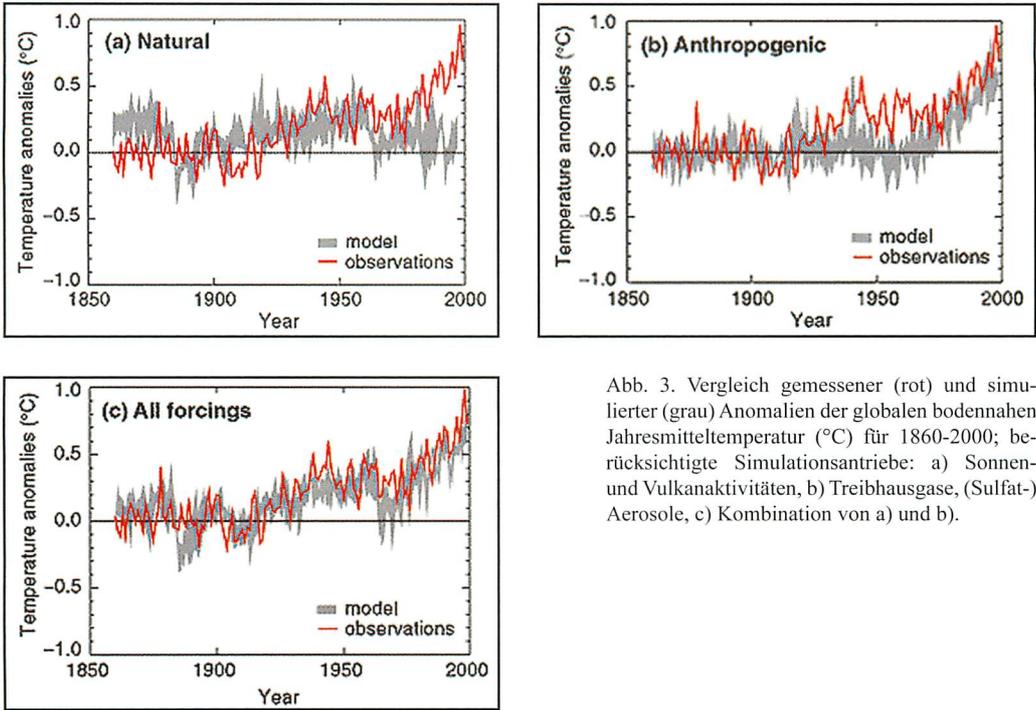


Abb. 3. Vergleich gemessener (rot) und simulierter (grau) Anomalien der globalen bodennahen Jahresmitteltemperatur (°C) für 1860-2000; berücksichtigte Simulationsantriebe: a) Sonnen- und Vulkanaktivitäten, b) Treibhausgase, (Sulfat-Aerosole, c) Kombination von a) und b).

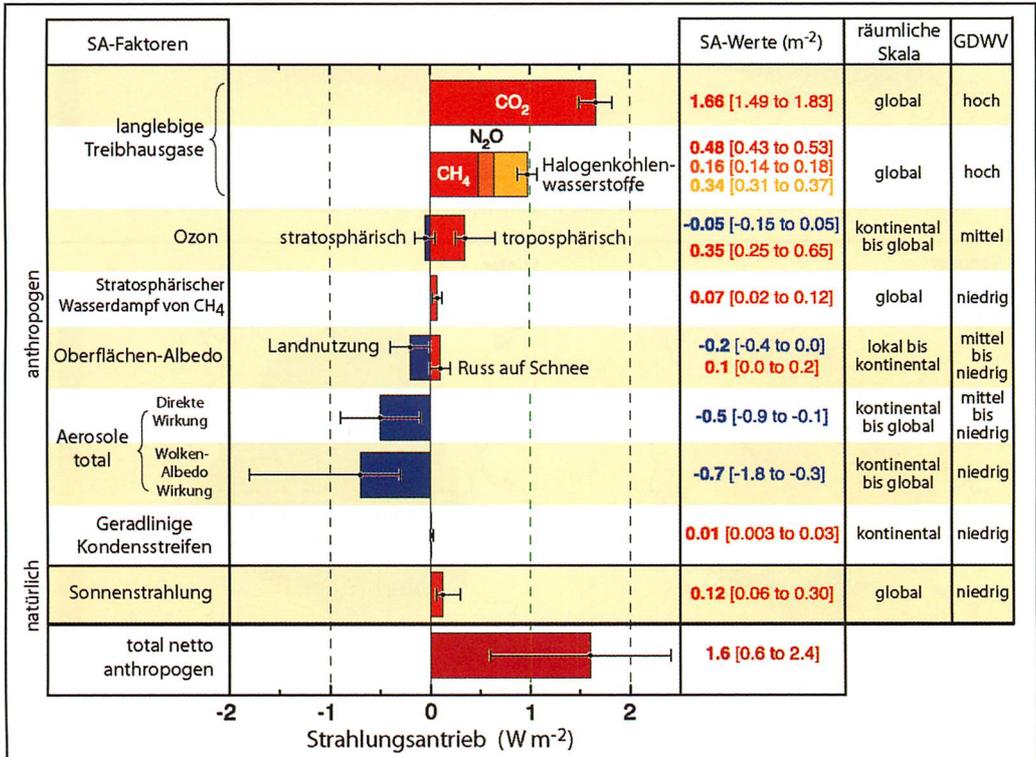


Abb. 4. Schätzungen des global gemittelten Strahlungsantriebs (SA) in ( $\text{W m}^{-2}$ ) für das Jahr 2005 (relativ zum Beginn des Industriezeitalters um 1750) für anthropogene und natürliche Antriebsfaktoren und deren Bezug zu Raumskalen, GDWV: Grad des wissenschaftlichen Verständnisses.

ben. Zur Bewertung natürlicher bzw. anthropogener Antriebsfaktoren für den derzeit stattfindenden globalen Klimawandel werden in Abb. 4 deren spezifische Strahlungsantriebe<sup>1</sup> angegeben.

### 3 Regionales Klima in Mitteldeutschland

Klimaänderungen im regionalen Maßstab zeigen generell eine höhere zeitliche Variabilität gegenüber globalen Mittelwerten auf. Neben dieser zeitlichen Struktur existiert analog auch eine räumliche Struktur (zeitlich varia-

bel) des Klimawandels, wobei eine Variation zwischen den Jahreszeiten noch hinzukommt. Die regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels beruhen neben jahreszeitlichen Änderungen der atmosphärischen Zirkulation auf räumlich variierenden, lokalen orografischen Effekten. Hieraus wird deutlich, dass klimatologische Variabilitäten einen starken Bezug zum Betrachtungsmaßstab haben.

#### 3.1 Rezente Klimavariabilität

Die Jahresmitteltemperatur hat in Mitteldeutschland während der zweiten Hälfte des

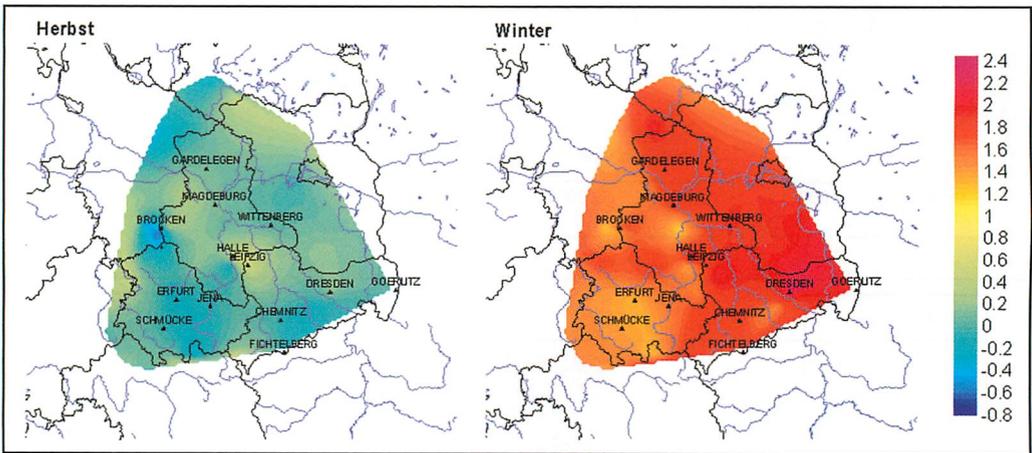


Abb. 5. Absoluter Trend (°C) der Herbst- und Wintertemperatur in Mitteldeutschland, 1951-2000.

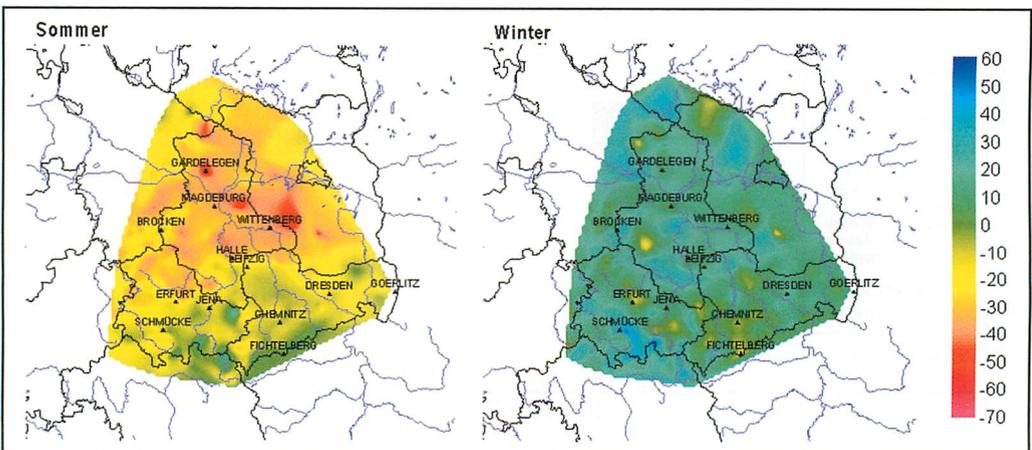


Abb. 6. Relativer Trend (%) des Sommer- und Winterniederschlags in Mitteldeutschland, 1951-2000.

<sup>1</sup> Strahlungsantrieb (SA, engl. Radiative Forcing): Maß ( $W m^{-2}$ ) für den Einfluss eines einzelnen Antriebsfaktors auf Änderungen im atmosphärischen Strahlungshaushalt, positiver SA führt zu einer Erwärmung und negativer SA zu einer Abkühlung der bodennahen Luftschicht.

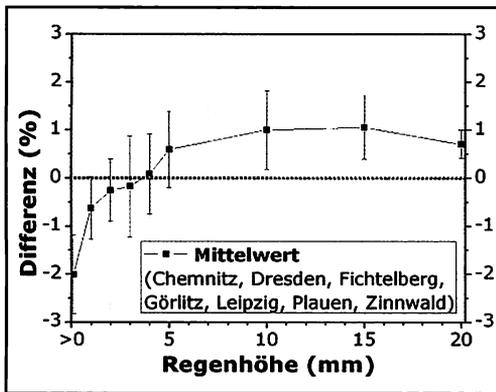


Abb. 7. Änderung der Überschreitungswahrscheinlichkeit (%) sommerlicher Regenhöhen  $\geq 0,1$  bis 20 mm pro Tag für 1991-2005 vs. 1961-1990 (Beispiel Sachsen).

20. Jahrhunderts flächendeckend um 1 bis 1,4°C (Lößgürtel) zugenommen. Mit Ausnahme des Herbstes ist es in den Jahreszeiten generell wärmer geworden. Die stärksten Temperaturzunahmen um 2,4°C wurden im Winter für das ostsächsische Löß-Hügelland beobachtet, wobei im Allgemeinen gilt: Trendstärke proportional zur Kontinentalität (Abb. 5). Die räumlich ausgedehnten Temperaturabnahmen im Herbst haben eine Größenordnung bis -0,4°C in den Mittelgebirgsregionen. Für die Temperaturentwicklung in einer nahen Klimazukunft ist eine Fortsetzung des allgemeinen Erwärmungstrends wahrscheinlich, wobei im Herbst von einer Trendumkehr hin zu Temperaturzunahmen auszugehen ist.

Die höhenabhängige Entwicklung des Jahresniederschlags hat in den letzten 50 Jahren zu einer Verschärfung der Gegensätze zwischen niederschlagsreichen (Mittelgebirge) und niederschlagsärmeren (Tiefländer) Regionen in Mitteldeutschland geführt. Die innerjährliche Niederschlagsentwicklung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts war in Mitteldeutschland durch entgegengesetzte Vorzeichen gekennzeichnet (Abb. 6). Im Sommer folgt die flächendeckende Niederschlagsabnahme einem Nord-Süd-Gradienten von -40 % in Fläming und Altmark bis -10 % im Lößgürtel, wobei das Erzgebirge mit leichten Niederschlagszunahmen eine Ausnahme bil-

det. Demgegenüber haben die Niederschlagsmengen im Winter flächendeckend um 10 bis 40 % (Thüringer Wald) zugenommen.

Ein wesentliches Charakteristikum ist eine beobachtete Tendenz hin zu mehr Starkniederschlagsereignissen, insbesondere während des zunehmend trockener werdenden Sommers (Abb. 7). Vor dem Hintergrund des allgemeinen Erwärmungstrends in Mitteldeutschland ergibt sich daraus ein Hinweis auf ein gehäuftes Auftreten und eine Intensivierung konvektiver Starkniederschläge. Ähnliche Tendenzen sind auch mit Bezug zum Jahr festzustellen. Generell können die Aussagen zum Starkniederschlagsverhalten nicht als signifikant bewertet werden, da das Änderungssignal auf Grund zu kurzer Messreihen nicht gesichert ist.

Aus der Kombination von Temperatur- und Niederschlagszunahmen im Winter kann gefolgert werden, dass der Niederschlag tendenziell häufiger als Regen fällt. Im Umkehrschluss bedeutet dies eine allgemeine Abnahme von Schneetagen und der Verkürzung von Schneeperioden bei niedriger werdenden Schneedeckenhöhen. Das Beispiel des Winters 2009/2010 zeigt, dass hier Schwankungen von Jahr zu Jahr einbezogen sind.

Es ist wahrscheinlich, dass sich dieses raumzeitliche Muster der Niederschlagsentwicklung in der nahen Klimazukunft fortsetzt, wobei Niederschlagszunahmen nur in den oberen Berglagen der Mittelgebirge (Erzgebirge, Thüringer Wald) erwartet werden können. Ansonsten ist von einer weiteren Verschärfung des Niederschlagsdargebots außerhalb der Mittelgebirge auszugehen.

### 3.2 Zukünftig mögliche Klimaänderungen

Abschätzungen zukünftig möglicher Klimaänderungen in Deutschland basieren auf dem Output der Regionalmodelle REMO, CLM, WETTREG und STAR. Diese werden angetrieben bzw. nutzen den Output des Globalmodells ECHAM5/MPI-OM. Eine Klima-

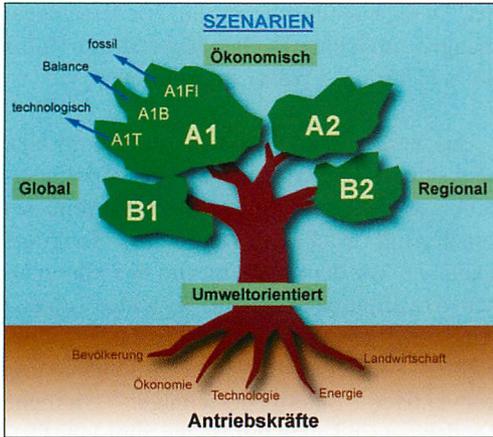


Abb. 8. IPCC-Szenarienbaum: Schema zur Ausrichtung der Emissionsszenarien.

änderung für Zeitscheiben in der nahen Klimazukunft (z. B. 2021-2050, 2071-2100) ergibt sich aus dem relativen Änderungssignal zum simulierten Vergangenheitsklima (Kontrollklima, z. B. 1961-1990, 1971-2000). Absolute Änderungen lassen sich aus der Übertragung des Unterschieds zwischen simulierten und gemessenen Kontrollklima mittels dem relativen Änderungssignal ableiten. Für Klimaprojektionen in eine nahe Klimazukunft werden Annahmen über den zeitlichen Verlauf

der menschlichen Entwicklung (u. a. Demografie, Energiebereitstellung, Wirtschaftsweisen etc.) verwendet. Diese werden als CO<sub>2</sub>-Äquivalente mittels sozio-ökonomischer Modelle berechnet und zu den IPCC-Emissionsszenarien (z. B. A1B) zusammengefasst (Abb. 8).

Durch den Vergleich aller Simulationsverläufe, d. h. über alle Modelle für alle Emissionsszenarien, kommt die Bandbreite möglicher und jeweils gleich wahrscheinlicher Realisierungen des Zukunftsklimas zum Ausdruck. Die Ursachen dieser Unsicherheiten haben die nachstehenden Quellen und nehmen in der Modellkette bis zur Bewertung/Interpretation regionaler Klimafolgen zu (Abb. 9).

- Die Unsicherheit der zukünftigen Treibhausgasemissionen, oder allgemeiner, der zukünftigen Entwicklung der das Klima bestimmenden natürlichen und anthropogenen Größen (darunter auch regional spezifische Einflussgrößen wie z. B. die Art der Landnutzung und Aerosolemissionen).
- Die Unsicherheit durch Ungenauigkeiten in den globalen Klimamodellen, deren Ergeb-

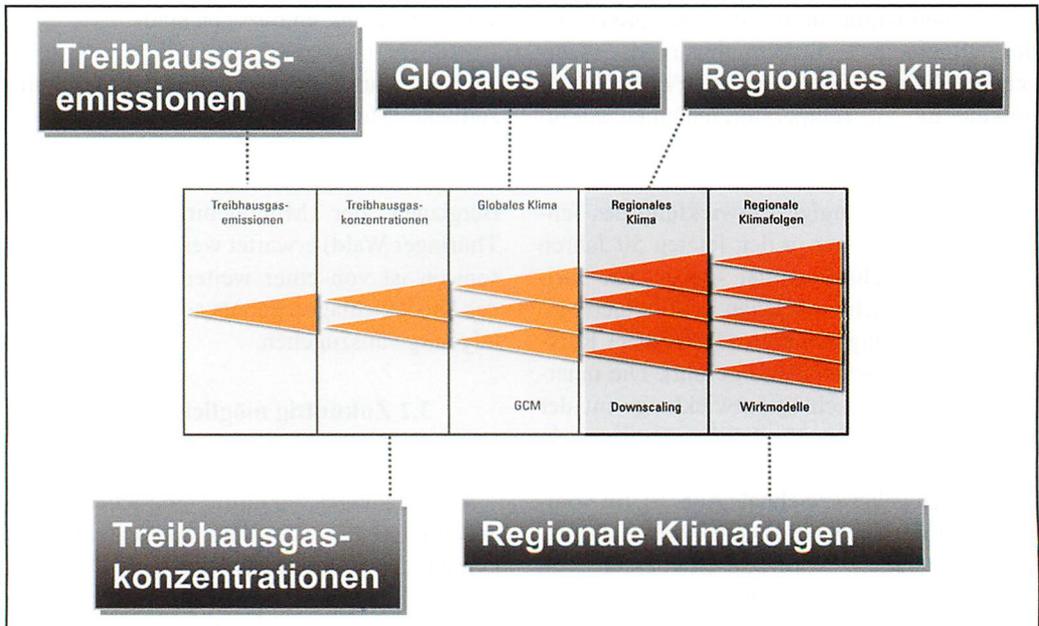


Abb. 9. Entwicklung der Unsicherheit in der Modellkette.

nisse als Randbedingungen für regionale Klimamodelle dienen.

- Die Unsicherheit durch Ungenauigkeiten in den regionalen Klimamodellen.
- Die so genannte Sampling-Unsicherheit, die dadurch entsteht, dass das modellierte Klima immer aus einer begrenzten Anzahl von Modell-Jahren geschätzt werden muss.

Die nachfolgenden Aussagen beruhen auf der Annahme des A1B-Emissionsszenarios. Dieses mittlere Szenario schätzt die zukünftigen Emissionen weder besonders optimistisch, noch besonders pessimistisch ein.

Für das erweiterte Gebiet Deutschlands zeigen die Modelle bis 2050 eine um etwa 1°C höhere mittlere jährliche Lufttemperatur, wobei das Ergebnis des Modells WETTREG insgesamt etwas unter, dasjenige des Modells STAR insgesamt über diesem Wert liegt. Nach 100 Jahren hat sich die Erwärmung deutlich verstärkt: Im Norden steigt die mittlere jährliche Lufttemperatur um etwa 2,5°C (WETTREG) bis knapp 3°C (REMO, CLM) an, im Süden um etwa 2,5°C (WETTREG) bis 3,5°C (REMO, CLM). Während die regionalen Temperaturänderungen in den Ergebnissen des Modells WETTREG keine allzu großen Unterschiede aufweisen, ist in den entsprechenden Ergebnissen der Modelle REMO und CLM zu erkennen, dass die Temperaturänderungen von Norden nach Süden hin deutlich zunehmen (Abb. 10a).

Im Winter stimmen alle vier regionalen Klimamodelle recht gut überein. Sie erwarten bis 2050 einen Temperaturanstieg zwischen 1 und 2 Grad, der sich bis 2100 auf eine Temperaturzunahme von 3 bis 5 Grad fortsetzt. Dabei wird im Osten und Süden mit +3,5 bis +5 Grad eine etwas kräftigere Erwärmung erwartet als im Westen und Norden, wo mit +3 bis +4,5 Grad gerechnet wird (Abb. 10b).

Im Sommer zeigt das regionale Klimamodell WETTREG eine deutlich geringere Erwärmung als die anderen Klimamodelle:

WETTREG rechnet bis 2050 mit einer Erwärmung um weniger als 1 Grad und bis 2100 mit einer Erwärmung um weniger als 2,5 Grad bei jeweils geringen regionalen Unterschieden. Dagegen weisen die anderen Klimamodelle schon bis 2050 auf eine Erwärmung bis zu 2 Grad und bis 2100 sogar auf einen Temperaturanstieg um bis zu 5 Grad hin. Die stärkste Erwärmung soll dabei im Südwesten Deutschlands stattfinden, während der Nordosten mit einer mäßigeren Temperaturzunahme rechnen kann (Abb. 10c).

Für das erweiterte Gebiet Deutschland ist zu erkennen, dass es im Sommer eine klare Tendenz zu geringeren Niederschlagshöhen gibt. Nur das Modell REMO zeigt vereinzelt eine geringe Zunahme. Die Sommer werden bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts mehr oder weniger verbreitet um bis zu 15 % - nach dem Modell STAR allerdings bereits um bis zu 25 % - trockener. Diese Tendenz setzt sich fort, so dass bis zum Ende dieses Jahrhunderts verbreitet ein Viertel weniger, in einzelnen Regionen sogar bis zu 40 % weniger Niederschlag erwartet wird (Abb. 11c).

Im Winter ist zu erkennen, dass eine Tendenz zu höheren mittleren Niederschlagshöhen vorherrscht, die insbesondere zum Ende dieses Jahrhunderts sehr deutlich wird. Bis zur Mitte des Jahrhunderts ist dieser Trend nur im Modell WETTREG in dieser Deutlichkeit zu erkennen; die anderen Modelle zeigen sogar einzelne Bereiche mit etwas geringeren Niederschlägen. Für den Zeitraum 2071 bis 2100 werden dagegen nahezu überall deutlich höhere Niederschläge errechnet: nach REMO und CLM verbreitet bis zu 25 %, nach WETTREG sogar bis zu 70 % mehr als im jüngst vergangenen Zeitraum 1971 bis 2000 (Abb. 11b).

Mit Bezug zum Jahr wird deutlich, dass sich die Tendenzen zu höheren mittleren Niederschlagshöhen im Winter und zu geringeren mittleren Niederschlagshöhen im Sommer teilweise ausgleichen. Für den gesamten Jahresniederschlag werden im Mittel nur geringe Änderungen erwartet, die meistens +/- 5 % des bisherigen Wertes nicht überschreiten. Et-

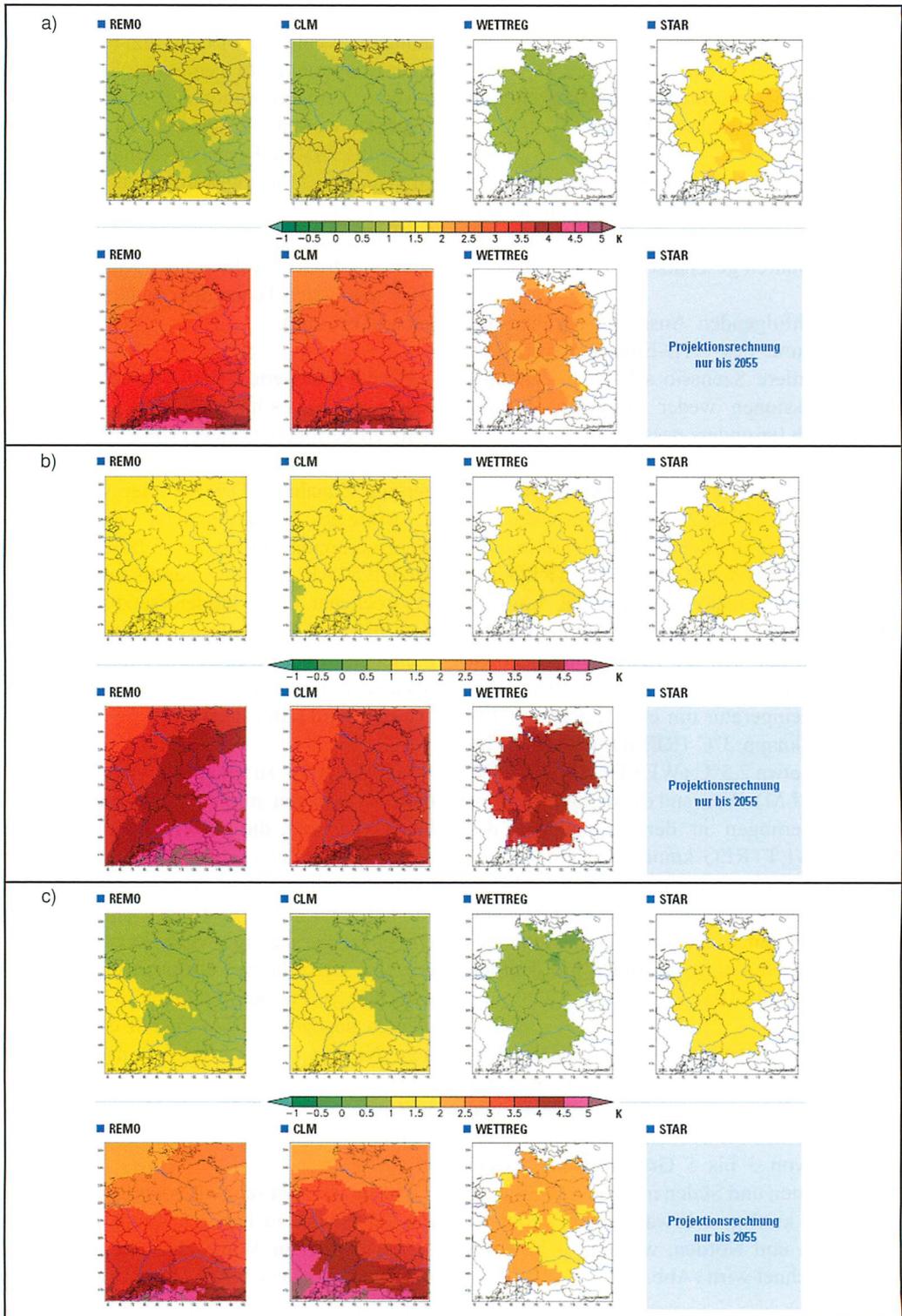


Abb. 10. Simulierte Temperaturänderungen (Kelvin) in Deutschland für 2035 (2021-2050, oben) und 2085 (2071-2100, unten) vs. 1971-2000 (Kontrolllauf) im Jahr (a), Winter (b), Sommer (c), IPCC-Szenario: A1B, Modelle: REMO, CLM, WETTREG, STAR (Quelle: Deutscher Wetterdienst, www.dwd.de, 2010).

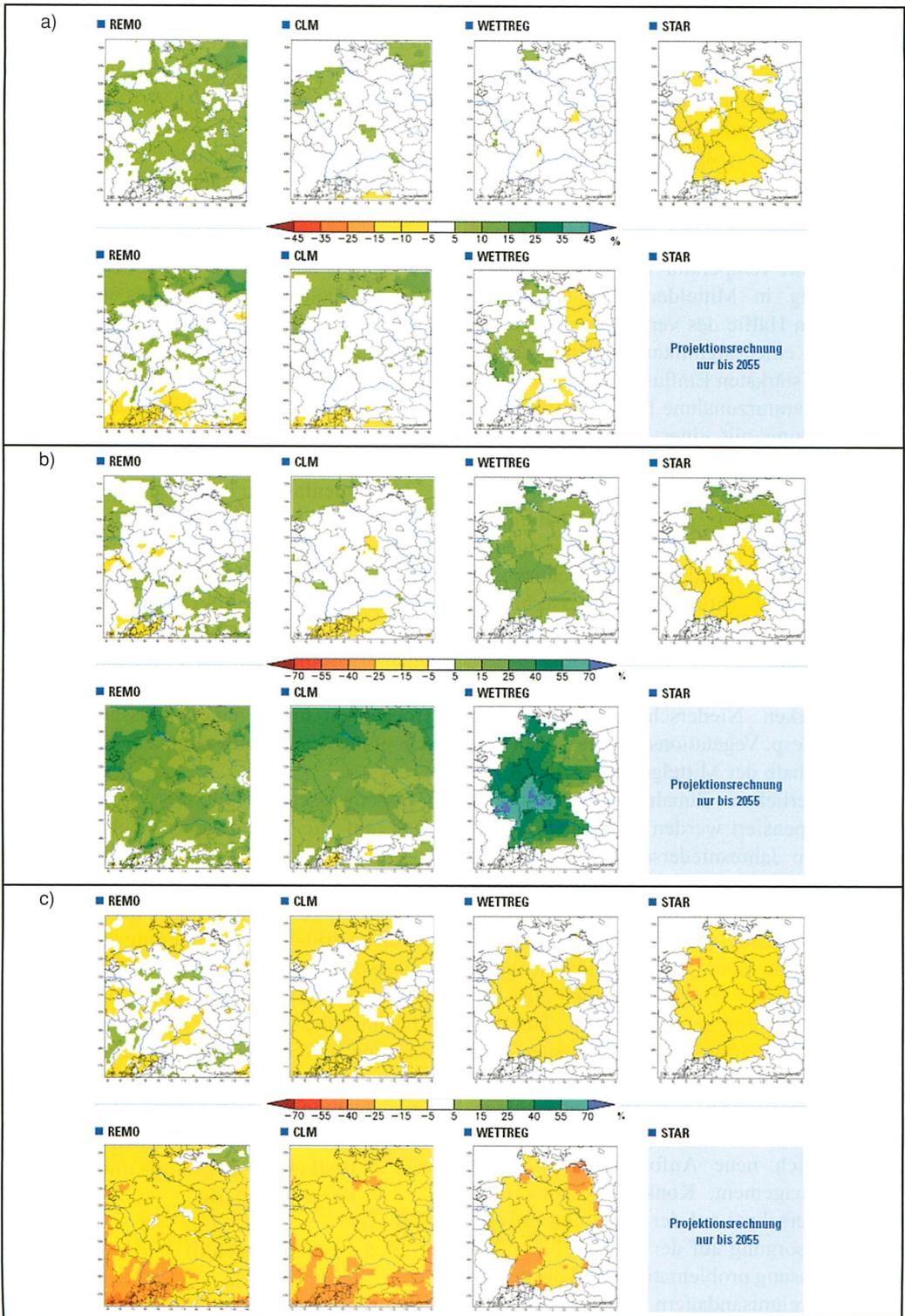


Abb. 11. Simulierte Niederschlagsänderungen (%) in Deutschland für 2035 (2021-2050, oben) und 2085 (2071-2100, unten) vs. 1971-2000 (Kontrolllauf) im Jahr (a), Winter (b), Sommer (c), IPCC-Szenario: A1B, Modelle: REMO, CLM, WETTREG, STAR (Quelle: Deutscher Wetterdienst, www.dwd.de, 2010).

was mehr Niederschlag wird in den Mittelgebirgsregionen und an den Küsten, so wie anfangs vom Modell REMO erwartet. Auf etwas geringere Niederschläge wird anfangs vom Modell STAR sowie später teilweise im Süden und im Osten hingewiesen (Abb. 11a).

#### 4 Integrative Aussagen

Die rezente Temperatur- und Niederschlagsentwicklung in Mitteldeutschland während der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts zeigt einen signifikanten Klimawandel, wobei den stärksten Einfluss hierbei die generelle Temperaturzunahme hat. Letzteres führt, in Verbindung mit einer allgemein höheren Globalstrahlung, zu einer Zunahme des atmosphärischen Verdunstungsanspruchs (potenzielle Verdunstung), was in Kombination mit den starken Abnahmen des Sommerniederschlags ein zunehmend defizitäres potenzielles Wasserdargebot (klimatische Wasserbilanz: Niederschlag minus potenzielle Verdunstung) zur Folge hat.

Die starken Niederschlagsabnahmen im Sommer (resp. Vegetationsperiode), insbesondere außerhalb der Mittelgebirge, können von den winterlichen Zunahmen gebietsweise nicht kompensiert werden und haben zu Abnahmen im Jahresniederschlag geführt. Die zunehmende Trockenheit im Sommer ist begleitet von einem gehäuften Auftreten und einer Intensivierung von Starkniederschlagsereignissen, was einen grundlegenden Konflikt bzgl. der Wasserverfügbarkeit zur Folge hat. Aus der gleichzeitigen Zunahme von Trockenperioden (in Häufigkeit und Andauer) und Starkniederschlagsereignissen, kombiniert mit einer markanten Abnahme der Niederschlagssummen während der Vegetationsperiode, ergeben sich neue Anforderungen an das Wassermanagement. Konkret bedeutet dies: Hochwasserschutz auf der einen und (Trink-) Wasserversorgung auf der anderen Seite. Für eine Anpassung problematisch sind die gegenläufigen Ereignisandauern beider Extreme. So laufen Hochwasserereignisse binnen weniger Tage ab, während sich Trockenperioden (auch im Sinne der Talsperrenbewirtschaftung) über

mehrere Monate bis hin zu einigen Jahren erstrecken können. Weiterhin hat eine solche Niederschlagsentwicklung negativen Einfluss auf die Wasserqualität.

Bis zur ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass eine Fortsetzung der bereits beobachteten Entwicklungen zu erwarten ist, was zu einer zunehmenden Verschärfung des Niederschlagsdargebots und der Verfügbarkeit der Ressource Wasser in Raum und Zeit führt. Bezüglich des Niederschlagsdargebots kann in den Mittelgebirgen, vs. Tiefland, von einer entspannteren Situation ausgegangen werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels zu massiven Änderungen in der raum-zeitlichen Struktur des Niederschlags in Mitteldeutschland geführt haben. Diese haben eine komplexe Wirkungskette auf den regionalen Wasserhaushalt zur Folge und sind mit Risiken verbunden. So hat eine zunehmende Trockenheit immer eine umfassendere Ausschöpfung des Bodenwassers zur Folge.

Bodenwasserhaushaltsstress wirkt sich negativ auf die Grundwasser-Neubildung aus und führt zu einer Unterdrückung der Verdunstung, was eine zusätzliche Erwärmung der Luft zur Folge hat. Als Folge einer im Jahr zunehmend früheren Verringerung des Niederschlagsdargebots ist bereits zum Beginn der Vegetationsperiode, im Frühjahr, von einer Abnahme des Abflussdargebots auszugehen, was eine Verschärfung von Niedrigwasserperioden in Häufigkeit und Andauer zur Folge hat und temporäre Austrocknung forciert.

### 5 Risiken für die Land- und Forstwirtschaft

#### 5.1 Landwirtschaft

Klimaänderungen können sich sowohl positiv als auch negativ auf die Landwirtschaft auswirken und erfordern neben einem konsequenten Klimaschutz geeignete Anpassungs-

maßnahmen. Mögliche Risiken für die Landwirtschaft sind u. a.:

- Ertragseinbußen, insbesondere durch Einschränkungen in der Wasserversorgung,
- stärkere Ertragsschwankungen durch Pflanzen- und Bodenschäden infolge zunehmender witterungsbedingter Extreme (Trockenheit/Dürre, Starkregen, Wind),
- erschwerte Sortenwahl bei Aufkommen neuartiger Pflanzenschädlinge.

Simulationen zur Ertragsbildung in der Nordhemisphäre zeigen zudem eine Nordverschiebung der optimalen Wachstumsgebiete vieler Kulturpflanzen. Stark ausgetrocknete Bodenoberflächen erhöhen die Gefahr der äolischen Erosion (Wind). Dagegen erhöhen vermehrt auftretende, extreme Niederschlagsereignisse das Risiko fluviatiler Bodenerosion und von Überschwemmungen. Das Risiko der Ertragsminderung stellt sich in Abhängigkeit des Bodens unterschiedlich dar. So werden (und sind bereits) sandige Böden durch einen Rückgang des pflanzenverfügbaren Wassers während der Vegetationsperiode, verursacht durch Niederschlagsrückgang, betroffen sein. Neben wasserbedürftigen Fruchtarten wie Kartoffeln, Rüben, Weizen etc. hat selbst der trockenolerante Roggen im Dürrejahr 2003 mit Ertragsrückgängen reagiert. Im Gegensatz dazu wird es bei Löß-Standorten wichtig sein, sich acker- und pflanzenbaulich auf die zu erwartenden hohen Niederschlagsintensitäten während der Vegetationsperiode einzustellen. Eine Verlängerung der Vegetationsperiode, durch steigende Temperaturen im Winter und Frühjahr, sowie die vergleichsweise niedrigeren Jahresmitteltemperaturen (beides anbau- und ertragslimitierende Faktoren) könnten beispielsweise den Anbau von Weizen und Mais auf den Verwitterungsstandorten der Mittelgebirgslagen begünstigen.

## 5.2 Forstwirtschaft

Hinsichtlich der für den Wald einschränkend wirkenden Umweltfaktoren Wasserdar-

gebot (insbesondere im Tiefland) sowie Wärme (insbesondere im Mittelgebirge) erscheint es aus Klimasimulationen wahrscheinlich, dass erhebliche Verschiebungen der potenziell natürlichen Baumartenverteilung und deren Zusammensetzung sowie Struktur möglich sind. Für die Mittelgebirgslagen ist – zwar zunehmend, aber nicht flächendeckend – mit temporärem Trockenstress zu rechnen. Derzeit noch im Flach- und Hügelland ansässige Waldgesellschaften werden aufgrund der Temperaturerhöhung bis in die höheren Lagen der Mittelgebirge hinein standortgerecht sein. In den trockensten Regionen werden eine Waldstrukturanpassung sowie der Anbau besonders trockenoleranter Baumarten erforderlich sein. Unter Berücksichtigung der Klimaszenarien ist eine flächenmäßige Ausweitung der Kiefernwälder sowie die Entstehung eines „adaptiven Trockenwaldes“ auf den sandigen Standorten im Tiefland zu Lasten insbesondere der Laubbaum (Eichen) dominierten Mischwälder wahrscheinlich.

## 5.3 Strategien und Maßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft

Seit einigen Jahren werden zwei Strategien zur Reaktion auf die Folgen des regionalen Klimawandels verfolgt. Neben Maßnahmen zur Minderung der Auswirkung von Klimaänderungen (in der Hauptsache durch Emissionsreduktion von treibhauswirksamen Spurengasen) werden auch Strategien zur Anpassung an den regionalen Klimawandel entwickelt. In der Land- und Forstwirtschaft beinhaltet dies zum Beispiel:

- Entwicklung angepasster Sorten (Trockenstress, Klimatoleranz, Schädlinge),
- Einführung neuer Kulturen,
- Veränderung der Fruchtfolgen,
- doppelte Ernten durch längere Vegetationsperioden,
- Anpassung von Düngung und Pflanzenschutz,

- Boden schonendes und Wasser sparendes Management,
- Waldumbau zu naturnahen und gegenüber Extremereignissen stabileren Mischwaldsystemen.

## 6 Ausblick

Gegenüber den sich bereits geänderten und den für die nahe Klimazukunft zu erwartenden Klimabedingungen besteht die hohe gesellschaftliche Verantwortung, im Sinne des Vorsorgeprinzips, räumlich fassbare und zeitnahe Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zu entwickeln. Unter dem Motto „global denken und regional handeln“ müssen hierbei ökologische, ökonomische und soziale Aspekte im Sinne einer generationenübergreifenden Nachhaltigkeit vereint werden. Grundlage sollte hier eine unabhängige, fachgerechte In-

terpretation von Forschungsergebnissen sein, um Chancen und Risiken des regionalen Klimawandels ableiten zu können. Generell liegen die Risiken des Klimawandels in seiner Nichtlinearität begründet, was eine Anpassung schwierig macht.

## Schrifttum

- FRANKE, J. (2009): Risiken des Klimawandels für den Wasserhaushalt – Variabilität und Trend des zeitlichen Niederschlagsspektrums. Dissertation, Techn. Univ. Dresden ([www.qucosa.de](http://www.qucosa.de)).
- , GOLDBERG, V., & BERNHOFER, C. (2009): Sachsen im Klimawandel – ein Statusbericht. *Wiss. Z. TU Dresden* **58**, 32-38 ([www.qucosa.de](http://www.qucosa.de)).
- , -, MELLENTIN, U., & BERNHOFER, C. (2006): Risiken des regionalen Klimawandels in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. *Ibid.* **55**, 97-104 ([www.qucosa.de](http://www.qucosa.de)).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg., 2007): *Climate Change 2007. Summary for Policymakers* ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).