

Risiko

Manuskripteingang: 12.7.2005  
Angenommen am: 8.3.2006Johannes Franke, Valeri Goldberg, Udo Mellentin und  
Christian Bernhofer

## Risiken des regionalen Klimawandels in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

### 1 Einleitung

Wir befinden uns gegenwärtig in einer Periode eines einsetzenden und sich weiter verstärkenden globalen Klimawandels. In den letzten 150 Jahren hat die Mitteltemperatur der Erdoberfläche um 0,6 °C zugenommen, hauptsächlich verursacht durch die anthropogen bedingte Erhöhung der atmosphärischen Konzentrationen treibhauswirksamer Spurengase wie Kohlendioxid, Methan, Lachgas und FCKW. Für das Jahr 2100 prognostizieren die verschiedenen Klimamodelle mit unterschiedlichen Szenarien der sozioökonomischen Entwicklung und der damit verbundenen Emission von Treibhausgasen einen globalen Temperaturanstieg von 1,4 bis 5,8 °C – so viel wie in den letzten fünfhunderttausend Jahren nicht mehr. Das eigentliche Risiko des derzeitigen Klimawandels besteht nicht nur in der Größe, sondern vor allem in der Geschwindigkeit der Änderung. Ähnliche Temperaturschwankungen hat es in der Klimageschichte mehrfach gegeben – nur vollzogen sie sich im Laufe von mehreren Jahrtausenden bzw. Jahrmillionen. Wir werden diese Änderung innerhalb von einigen Jahrzehnten erleben, verbunden mit einer Zunahme von kurzfristigen Klimaschwankungen und Extremen beim Übergang zum neuen Gleichgewichtszustand. Das damit verknüpfte Anwachsen von Risiken witterungsbedingter Auswirkungen des Klimawandels wird regional sehr unterschiedlich ausfallen. Neben einzelnen „Gewinnern“ in nördlichen Breiten werden vor allem die Entwicklungsländer der Tropen und Subtropen zu den „Verlierern“ des Klima-

wandels zählen. Insgesamt muss davon ausgegangen werden, dass Extreme umso stärker ausfallen, je kleiner der räumliche Maßstab der Klimabetrachtung ist.

### 2 Globaler und regionaler Klimawandel

#### 2.1 Der globale Klimawandel

Die Klimageschichte der Erde ist geprägt von langen Perioden mit konstantem Klima und kurzen Phasen der Klimaänderung. Insgesamt war das Klima der vergangenen 2 bis 3 Milliarden Jahre eher warm, ohne jegliches Eisvorkommen auf der Erdoberfläche, abgelöst durch episodisch auftretende, kältere Abschnitte mit schwankenden Eisbedeckungen von einigen Millionen Jahren – den so genannten Eiszeitaltern. Die derzeitige, seit etwa 2,4 Millionen Jahren andauernde Periode – das Quartär – ist ein solches Eiszeitalter [10]. Diese Periode ist geprägt durch den regelmäßigen Wechsel von relativ kurzen Warm- und relativ langen Kaltzeiten. Dabei vollzog sich der Übergang von Warm- zu Kaltzeiten (und umgekehrt) oft abrupt innerhalb weniger hundert Jahre. Doch auch innerhalb der jeweiligen Teilperioden gab es zum Teil erhebliche Temperaturschwankungen. Obwohl die seit etwa 11 000 Jahren andauernde Warmzeit (Holozän) mit relativ ausgeglichenen Temperaturverhältnissen eine Ausnahmeerscheinung in der Klimageschichte darstellt, haben kleine Abweichungen vom Mittelwert zu nachhaltigen Konsequenzen für die demographische und kulturelle Entwicklung der Erdbevölkerung beigetragen (Bild 1). So wurden während des holozänen Optimums (vor ca.

*Für das Jahr 2100 wird ein globaler Temperaturanstieg von 1,4 bis 5,8 °C prognostiziert, hauptsächlich verursacht durch die anthropogen bedingte Erhöhung atmosphärischer Treibhausgase. Der Mensch beeinflusst damit über sein Verhalten seine eigenen Lebensbedingungen. Dieses selbst geschaffene Risiko wird auch in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen Landschaft und Menschen betreffen und verändern. So ist hier unter anderem mit einer Zunahme von Trockenperioden, Starkniederschlägen und der Wärmebelastung des Menschen im Sommer zu rechnen.*

*Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit diesen Risiken, basierend auf Ergebnissen der Flutforschung und einer an der Professur für Meteorologie durchgeführten regionalen Klimadiagnose der letzten 50 Jahre für o. g. Bundesländer und wird dabei Resultate einer regionalen Klimaprognose einbeziehen.*

*A global warming of 1.4 to 5.8 °C has been forecasted for the end of this century – attributed mainly to the anthropogenic reinforcement of greenhouse gases. Mankind is thus influencing its living conditions through its own activities. This self-engendered risk will also concern and change the landscapes and people of Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia, e.g. through an increase in dry periods, heavy rainfall and summer heat exposure.*

*This paper deals with these risks on the basis of current studies of the university department of meteorology, including the results of flood research and a regional climate analysis covering the past 50 years for the above-mentioned federal states of Germany. Additionally, the outcome of a regional climate prognosis is inte*

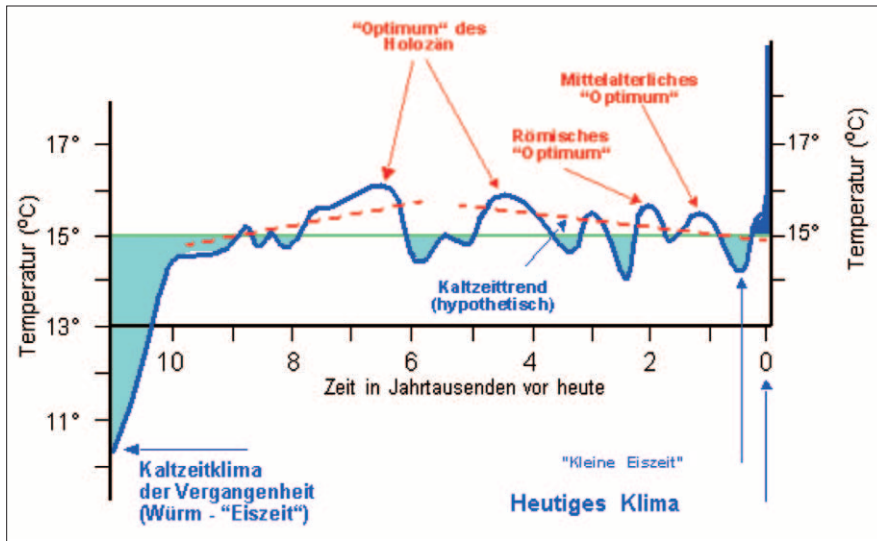


Bild 1. Temperaturschwankungen in den letzten 11 000 Jahren  
(Quelle: Schönwiese aus SMUL et al., 2005)

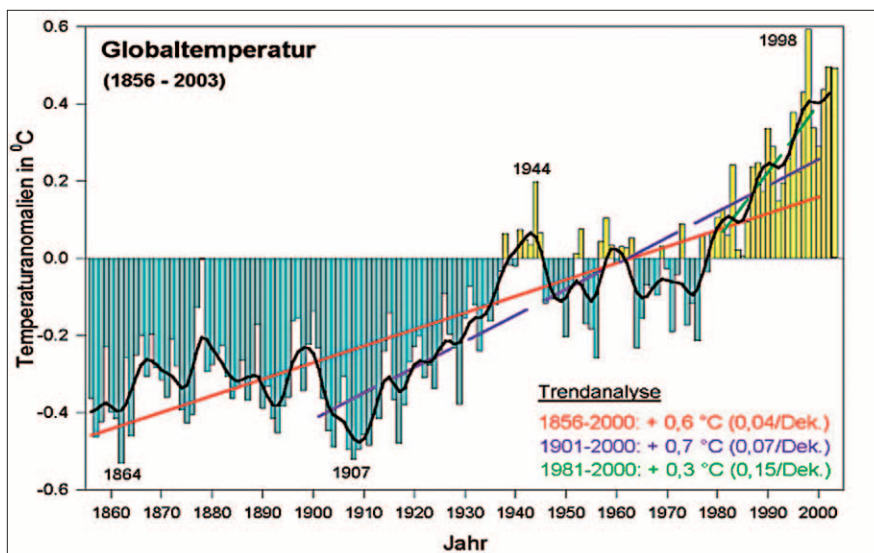


Bild 2. Globale Temperaturanomalien [°C] vs. CliNo-Periode 1961 – 1990 mit 20-jähriger Glättung und linearen Trends für die angegebenen Zeitintervalle (Quelle: IPCC 2001; ergänzt Schönwiese 2004)

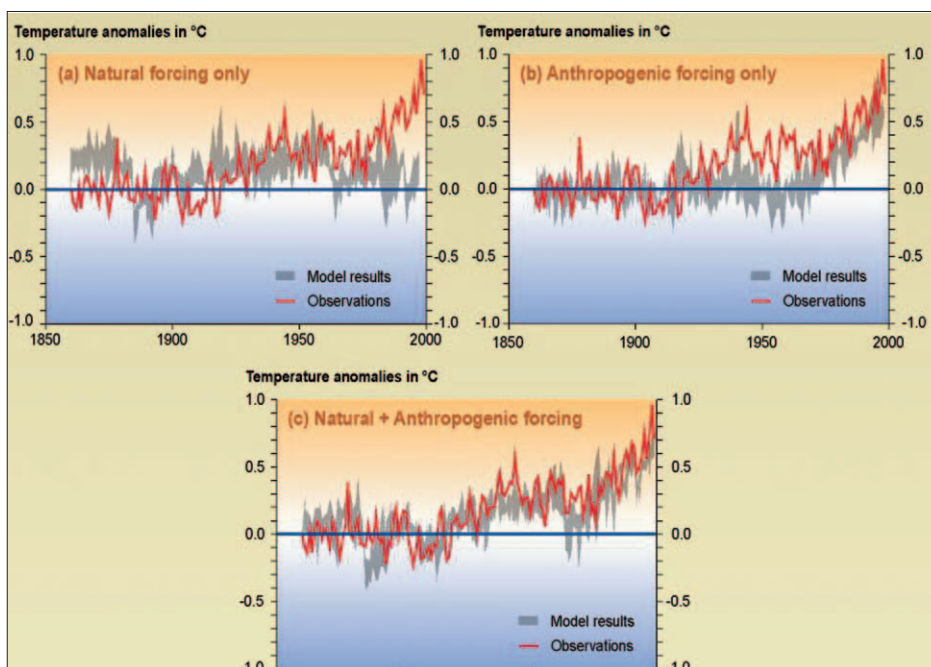


Bild 3. Temperaturanomalien [°C] für beobachtete und simulierte globale Mitteltemperatur unter Berücksichtigung natürlicher, anthropogener und gekoppelter Antriebskräfte, 1860 – 2000 (Quelle: IPCC)

8000 bis vor ca. 2000 Jahren) die größten Teile Eurasiens endgültig besiedelt. In der Zeit des mittelalterlichen Optimums (ca. 1000 bis 1350) fand unter anderem die Landnahme und Flächenrodung im östlichen Mitteleuropa durch deutsche Siedler statt und während der kleinen Eiszeit (ca. 1350 bis 1850) kam es zu politischen Unruhen in Mitteleuropa (Bauernkriege), teilweise ausgelöst durch Missernten, und die normannische Besiedlung Grönlands fand ein jähes Ende.

Die als modernes Optimum bezeichnete Periode setzte mit einem globalen Temperaturanstieg um etwa 1850 ein. Dies ist gleichzeitig die Periode von direkt gemessenen und damit sehr sicheren Temperaturwerten. Dieser Anstieg führte zu einem ersten Maximum um etwa 1940 und hat sich in den letzten 30 Jahren erheblich verstärkt (Bild 2). Die zehn wärmsten Jahre seit Beginn regelmäßiger Temperaturmessungen wurden nach 1990 registriert [10].

Waren für die Klimaschwankungen bis zum Ende des 19. Jahrhunderts ausschließlich natürliche Ursachen verantwortlich (Solarstrahlung, Vulkanismus, Erdbebenparameter, Kontinentaldrift und Gebirgsbildung), lässt sich seit Beginn des 20. Jahrhunderts eindeutig der anthropogene Einfluss nachweisen (Bild 3). Die menschliche Tätigkeit lässt sich vor allem in der Erhöhung der Konzentration natürlicherweise vorhandener (Kohlendioxid-CO<sub>2</sub>, Methan-CH<sub>4</sub>, Lachgas-N<sub>2</sub>O, Ozon-O<sub>3</sub>) bzw. dem Einbringen zusätzlicher künstlicher Treibhausgase (FCKW) in die Atmosphäre nachweisen (Bild 4). Die Quellen anthropogener Emissionen von Treibhausgasen sind vor allem in den Verbrennungsprodukten fossiler Rohstoffe (Kohle, Öl, Gas) und der Brandrodung (CO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub>) sowie der Landwirtschaft (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) zu finden. Dies hat zu einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 0,6 °C in den letzten 150 Jahren und damit zu einer Erhöhung des natürlichen Treibhauseffektes geführt. (Der natürliche Treibhauseffekt beträgt 33 °C und wird von Wasserdampf und Kohlendioxid dominiert).

Die Verknüpfung der zukünftigen globalen wirtschaftlichen Entwicklung (Wirtschaftsszenarien) mit der Emission treibhausrelevanter Spurengase (Emissionsszenarien) dient als Antrieb unterschiedlicher Klimamodelle, die unterschiedliche Klimaprognosen liefern. Die im Report des Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC) von 2001 [5] veröffentlichten aktuellsten Ergebnisse der Klimamodelle zeigen einen übereinstimmenden Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100 zwischen 1,4 und 5,8 °C.

## 2.2 Regionaler Klimawandel

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 variabel) 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 orographischen Effekten [13]. Hieraus wird deutlich, dass klimatologische Variabilitäten einen klaren Bezug zu maßstäblichen Naturräumen haben.

### 2.2.1 Europa und Bundesrepublik Deutschland

Für Europa lassen sich regionale und jahreszeitliche Unterschiede der Lufttemperatur derart festhalten, dass in den vergangenen 100 Jahren die Winter in Osteuropa um 2,5 °C

deutlich wärmer und in Nordskandinavien um 1 °C kühler geworden sind. Die globale Erwärmungstendenz trifft auch auf Mitteleuropa zu, wobei die Veränderlichkeit von Jahr zu Jahr gegenüber dem globalen Maßstab wesentlich höher ist [8]. Innerhalb des gleichen Zeitraumes ist für Deutschland ein Anstieg des Jahresmittels der Lufttemperatur um 0,9 °C festzustellen, wobei das Jahr 2000 mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,9 °C das wärmste des vergangenen Jahrhunderts (1,6 Grad über dem Mittelwert 1961 – 1990) war (Bild 5). Mit Ausnahme des Jahres 1996 – bedingt durch eine Winterstrenge – können seit 1988 alle Jahre gegenüber der zugrunde gelegten Referenzperiode 1961 – 1990 als zu warm eingeschätzt werden (Bild 5). In den letzten 30 Jahren sind dabei vor allem die Winter im Mittel um mehr als 1,5 °C wärmer geworden.

Die Niederschlagsentwicklung der letzten 100 Jahre in Europa zeigt, dass in Nord- und Westeuropa eine Zunahme und im südeuropäischen Mittelmeergebiet eine Abnahme der Niederschläge zu verzeichnen ist. In Mitteleuropa verläuft, mit wesentlich schwächeren Trends, die Linie der Trendumkehr, wobei jahreszeitlich betrachtet winterliche Zunahmen und sommerliche Abnahmen überwiegen. Für Deutschland zeigt sich darüber hinaus eine bemerkenswerte jahreszeitliche Umverteilung des Niederschlags derart, dass die Sommer – insbesondere im Osten Deutschlands – eher trockener, die Wintermonate dagegen in weiten Teilen Deutschlands – insbesondere in West- und Süddeutschland – deutlich feuchter geworden sind [8]. Es ist davon auszugehen, dass die winterliche Niederschlagszunahme zu häufigeren Hochwässern führt. Bemerkenswert ist dabei, dass dies häufig mit einer Zunahme extremer Niederschlagsereignisse einhergeht [8].

In Mitteleuropa ist seit den sechziger Jahren eine Zunahme von Wetterlagen mit westlicher Luftströmung in den Wintermonaten zu beobachten, welche in Deutschland zu insgesamt mildereren und feuchteren Wintern geführt hat. Für die Sommer ist andererseits seit den fünfziger Jahren eine Abnahme der West- sowie der ebenfalls sommerkühlen Nord- und Nordwestwetterlagen und damit insgesamt eine Tendenz zu wärmeren und trockeneren Sommern festzustellen. Maßgebend für die Klimavariabilität in Europa ist die Nordatlantische Oszillation als wichtigstes atmosphärisches Zirkulationsmuster über dem Nordatlantik.

### 2.2.2 Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

Die höhenabhängige Entwicklung des Jahresniederschlags hat in den letzten 50 Jahren zu einer Verschärfung der Gegensätze zwischen niederschlagsreichen (Mittelgebirge) und niederschlagsärmeren (Tiefländer) Regionen geführt. 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 bildet (Bild 6) [4]. Es ist möglich, dass sich dieses räumliche Muster der Niederschlagsentwicklung für die Dekade 2041 bis 2050 fortsetzt. Niederschlagszunahmen (vs. 1981 – 2000) bis zu 15 % sind nur in den Kammlagen von Erzgebirge und Thüringer Wald möglich. Sonst ist mit Abnahmen der Niederschlagsmengen im sächsischen Tiefland und der Lausitz bis 30 % und für den restlichen Teil des Untersuchungsgebietes bis 15 % zu rechnen [2]. Bemerkenswert ist, dass für Sachsen im Vergleich der Klimanormalperioden 1961 – 1990 und 1971 – 2000 eine Zunahme von Starkregenereignissen (> 20 mm/Tag) um das 5fache festzustellen ist [3]. Für den Winter sind flächen-

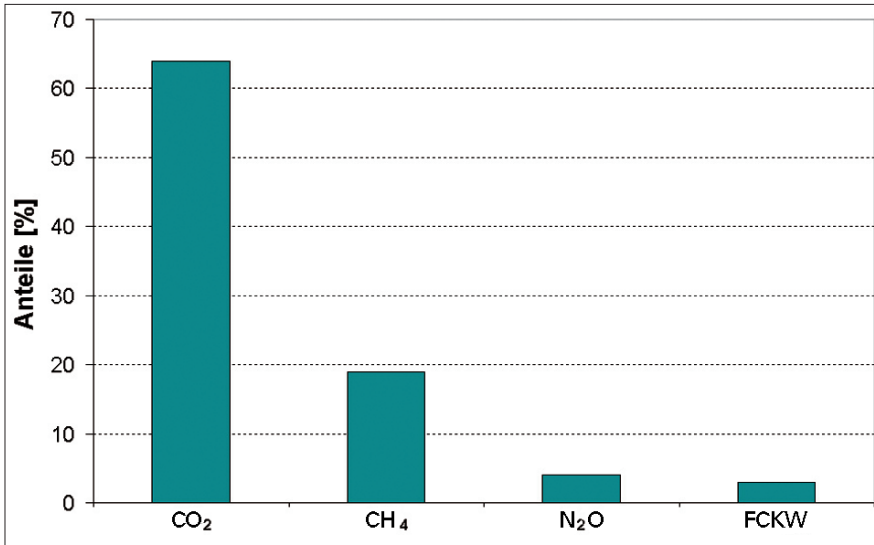


Bild 4. Verteilung von anthropogen beeinflussten Treibhausgasen (Quelle: verändert aus SMUL et al., 2005)

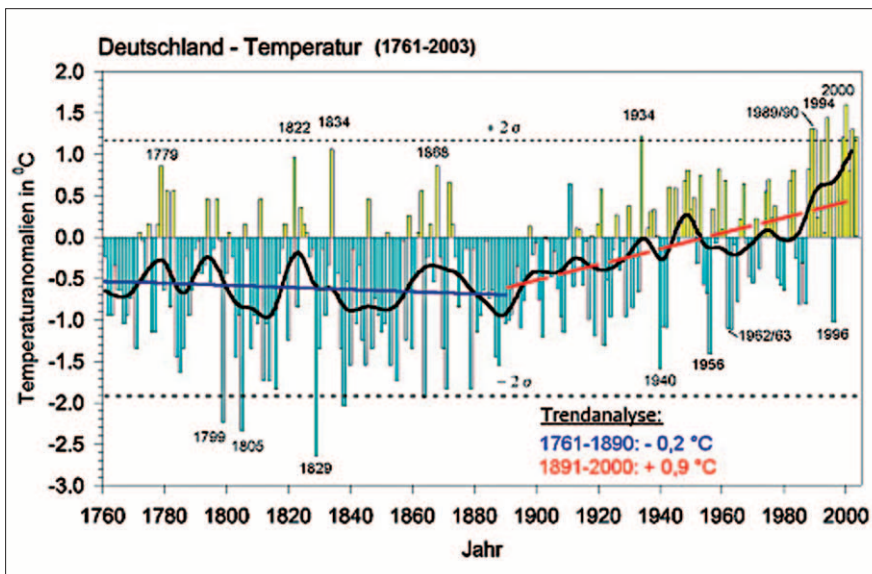


Bild 5. Temperaturanomalien [°C] für Deutschland vs. CliNo-Periode 1961 – 1990 mit 20-jähriger Glättung und linearen Trends für die angegebenen Zeitintervalle (Quelle: Rapp 2000; ergänzt Schönwiese 2004)

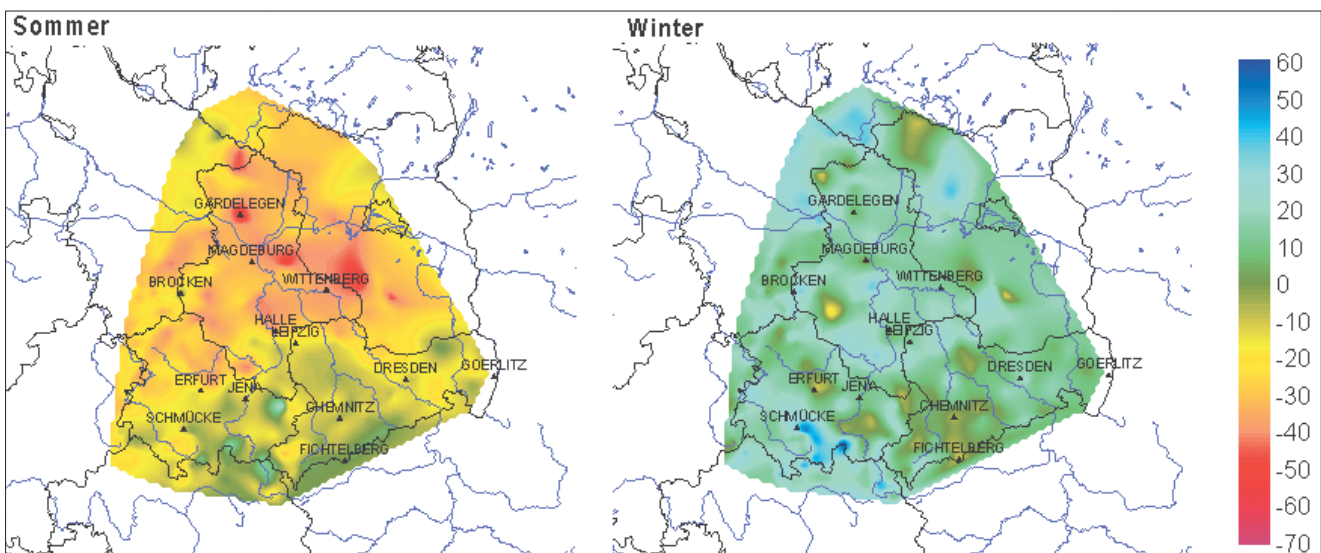


Bild 6. Relativer Trend des Sommer- und Winterniederschlages [%] für Mitteldeutschland, 1951 – 2000 (Quelle: TU Dresden, Professur Meteorologie)

deckende Zunahmen der Niederschlagsmengen von 10 % bis 40 % (Thüringer Wald) festzuhalten (Bild 6) [4]. Aus den starken Temperaturzunahmen der Wintermonate folgt eine allgemeine Umverteilung der Niederschlagsart von fest (Schnee) zu flüssig (Regen). Für die Dekade 2041 – 2050 ist eine Fortsetzung der Niederschlagstrends mit Zunahmen zwischen 45 % in Altmark und 15 % im Lößgürtel gegenüber 1981 – 2000 möglich [2].

Die Jahresmitteltemperatur hat in Mitteldeutschland während der letzten 50 Jahre flächendeckend um 1 °C bis 1,4 °C (Lößgürtel) zugenommen. Mit Ausnahme des Herbstes sind die 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 (Bild 7). Die räumlich ausgedehnten Temperaturabnahmen im Herbst haben eine Größenordnung bis 0,4 °C in den Mittelgebirgsregionen (Bild 7) [4]. Für die Dekade 2041 – 2050 ist zu erwarten, dass sich die starke winterliche Erwärmung mit möglichen Werten um 3 °C (gegenüber 1981 – 2000) fortsetzt, wobei im Herbst eine Trendumkehr hin zu Temperaturzunahmen zwischen 0,8 °C und 1,2 °C möglich sind [2].

Das rezente Temperatur- und Niederschlagsverhalten der letzten 50 Jahre in Mitteldeutschland zeigt einen signifikanten Klimawandel, wobei den stärksten Einfluss hierbei die generelle Temperaturzunahme hat [4]. Die mögliche Fortsetzung der Klimaentwicklung in der Zukunft ist dadurch charakterisiert, dass keine einheitlichen Klimaänderungen zu erwarten sind, vielmehr aber ein Wechsel zwischen Perioden mit kleineren und größeren Änderungen [2].

### 3 Folgen und Risiken des Klimawandels

Die ausreichende Verfügbarkeit von Wasser nach Quantität und Qualität besitzt für alle Lebensbereiche des Menschen grundlegende Bedeutung. Insbesondere die Gefahr des Wassermangels birgt in Mitteldeutschland – räumlich differenziert – erhebliche Risiken. Aus humanmeteorologischer Sicht bedeuten zunehmende Hitzeperioden ein hohes Stresspotenzial für den Menschen. Generell liegen die Risiken des Klimawandels in seiner Sprunghaftigkeit begründet, welche eine Anpassung schwierig machen. Im Sinne des Vorsorgeprinzips sollten aus den Ergebnissen der regionalen Klimadiagnose und -prognose räumlich fassbare und zeitnahe Anpassungen von Bewirtschaftungsrichtlinien (unter anderem für Wasser-, Land- und Forstwirtschaft sowie Tourismus) abgeleitet werden [3].

#### 3.1 Risiko von Hitzestress für den menschlichen Organismus

Über seinen Wärmehaushalt ist der Mensch eng mit der atmosphärischen Umwelt verknüpft. Dabei steht der Organismus in ständiger Auseinandersetzung zu den thermischen Umweltbedingungen, um beispielsweise die Körperkerntemperatur konstant halten zu können. Mit zunehmendem Hitzestress steigt die Anforderung für das Herz-Kreislauf-System und die Atmung immens. Untersuchungen haben gezeigt, dass ein sehr enger Zusammenhang zwischen den thermischen Umweltbedingungen und der Mortalitätsrate insbesondere im Hochsommer existiert. Dieser wird in einer Zeitverzögerung von null bis drei Tagen zwischen Temperatur- und Mortalitätspeak deutlich [6]. Die Hitze-welle im August 2003 insbesondere über West- und

Südeuropa ist jüngstes Beispiel dafür. So bedeuteten für Frankreich die offiziell angenommenen 14 800 Hitzeopfer 60 % mehr Todesfälle als erwartet [6].

#### 3.2 Folgen und Risiken für den Wintersport

Für den schneeabhängigen Wintersport haben sich aus den starken Temperaturzunahmen in den Wintermonaten bereits erste Folgen dahingehend eingestellt, dass außerhalb der Mittelgebirge diese Aktivitäten praktisch nicht mehr durchführbar sind. Geht man von einer maßgebenden Schneedeckenhöhe von > 20 cm aus, so ist derzeit nur an einem Drittel der im Winterquartal möglichen Tage in den oberen Lagen des Thüringer Waldes mit einer solchen zu rechnen [1]. Diese ca. 30 Tage/Wintersaison bedeuten im Allgemeinen die Wirtschaftlichkeitsgrenze für Skilifte [11]. Ähnliche Folgen haben sich bereits im Erzgebirge bemerkbar gemacht. So hat sich in der Fichtelbergregion die Anzahl der Tage mit einer wintersporttauglichen Schneedeckenhöhe um 23 Tage verringert [3]. Deutlich im Vorteil ist dagegen der Harz. Bei zwar negativen Trends kann in der Brockenregion fast über das gesamte Winterquartal (1971 – 2000) derzeit noch mit einer Schneedecke > 20 cm gerechnet werden [1].

Kombiniert mit der sich fortsetzenden Erwärmung um bis zu 3 °C (Dekade 2041 – 2050 vs. 1981 – 2000) stellt sich zukünftig die Frage nach der generellen Durchführbarkeit des schneeabhängigen Wintersports nun auch in den Mittelgebirgen Mitteldeutschlands. Die oben genannte Temperaturerhöhung könnte in der Region nur mit gegebenen Seehöhen von 900 m ü. NN bis 1000 m ü. NN kompensiert werden [1].

#### 3.3 Folgen und Risiken für Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft und Talsperrenbewirtschaftung

Mit den fortschreitenden klimatischen Veränderungen wird auch ein sich bereits abzeichnender, regionalspezifischer Wandel im Wasserhaushalt für das Untersuchungsgebiet deutlicher ausgeprägt werden. Quantitative Veränderungen stehen dabei auch immer in Rückkopplung mit der Wasserbeschaffenheit.

Zunehmende Trockenheit hat immer eine umfassendere Ausschöpfung des Bodenwassers zur Folge. Bodenwasserhaushaltsstress führt zu einer Unterdrückung der Verdunstung und somit zu einer zusätzlichen Erwärmung der Luft. Dadurch ist ein zunehmendes Risiko durch Dürre- und Hitzestress für Vegetation und Mensch gegeben. Weiterhin besteht das Risiko einer zunehmenden Versalzung des Grundwassers. Solche Tendenzen wurden bereits in Defizitgebieten (z. B. Fläming, Lausitz) beobachtet [7]. Als Hintergrund zeichnet sich der Aufstieg von Tiefen Grundwasser an Störungszonen bei reduzierter Grundwasserneubildung bzw. eine Überwirtschaftung des Grundwasserdargebots ab.

Für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen sind als Folge der sommerlichen Niederschlagsabnahmen massivste Veränderungen im Niedrigwasserbereich zu erwarten. Infolge einer zunehmend früheren Anspannung des potenziellen Wasserdargebotes ist bereits mit April eine deutliche Abnahme des mittleren monatlichen Abflussdargebotes und im Sommerhalbjahr eine Verschärfung von Niedrigwasserperioden in Dauer und Länge zu beobachten. Bäche und kleinere Fließgewässer können zukünftig zunehmend von temporärer Austrocknung betroffen sein. Die Reichweite solcher Austrocknungen wird zum Beispiel dadurch deutlich, dass als Folge der sommerlichen Trockenheit 2003 im

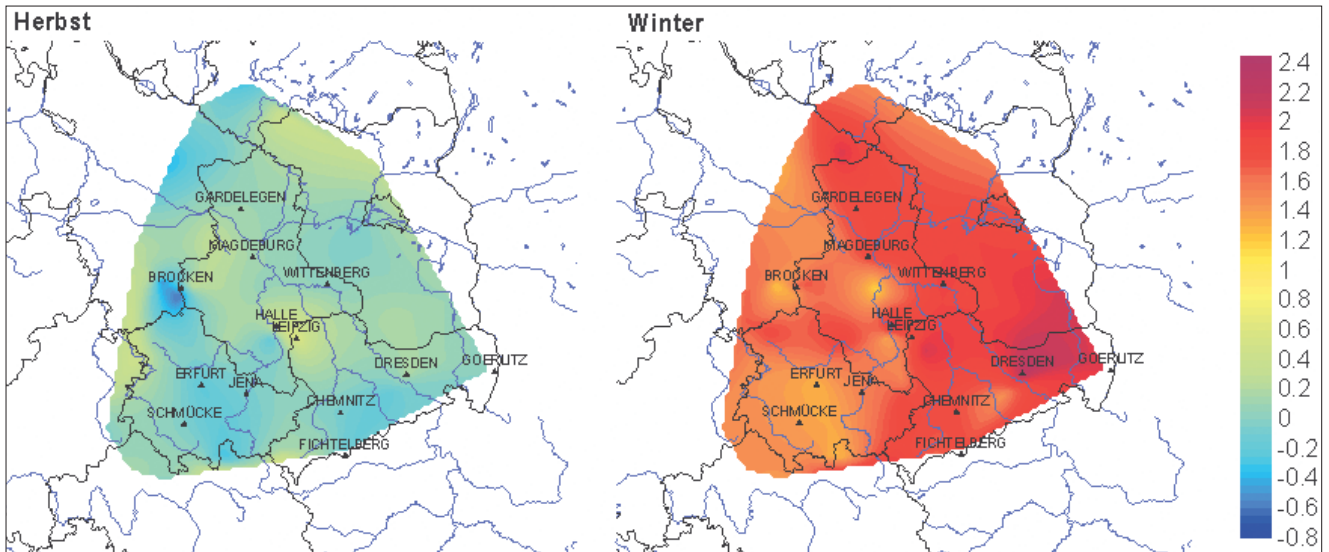


Bild 7. Absoluter Trend der Herbst- und Wintertemperatur [°C] für Mitteldeutschland, 1951 – 2000 (Quelle: TU Dresden, Professur Meteorologie)



Bild 8. Verdorrttes Maisfeld während der Dürreperiode 2003 (Quelle: SMUL et al., 2005)



Bild 9. Bodenabtrag infolge Oberflächenabfluss (Quelle: LfL, 2005)

Mai 2004 für das Zwischeneinzugsgebiet der Lausitzer Neiße von Zittau bis Görlitz ein Durchfluss von nur 18% gegenüber dem langjährigen Mittel für den betreffenden Mai gemessen wurde [7].

Für die Wasserbewirtschaftung zeigt sich im Hinblick auf die Wasserverfügbarkeit ein grundlegender Konflikt dahingehend, dass durch die gleichzeitige Zunahme von Trockenperioden (Häufigkeit, Andauer) und Starkniederschlagsereignissen, kombiniert mit einer generellen Abnahme der Niederschlagssummen insbesondere während des Sommerhalbjahres, neue Anforderungen an das Wassermanagement in den Vordergrund treten. Konkret bedeutet dies Hochwasserschutz auf der einen und (Trink-) Wasserversorgung auf der anderen Seite. Innerhalb dieses Konfliktpotenzials ist wesentlich, dass die Ereignisandauern beider Extreme gegenläufig sind. Extreme Hochwasserereignisse laufen innerhalb weniger Tage ab, während sich Trockenperioden im Sinne der Talsperrenbewirtschaftung über viele Monate bis hin zu mehreren Jahren erstrecken. In diesem Kontext ist es möglich, dass gegenüber dem Ist-Zustand von einer Reduzierung des Zuflusses ins Talsperrensystem Klingenberg/Lehnmühle (Wilde Weißeritz/Erzgebirge) in der Größenordnung von 30 % auszugehen ist [10]. Eine zusätzliche Anspannung verursachen zunehmende Verlustgrößen aus der Verdunstung infolge der Temperaturerhöhung. Hinsichtlich der Trinkwasserversorgung bedeutet dies zwangsläufig eine Reduzierung der Leistungsfähigkeit des oben genannten Talsperrensystems. Derzeit wird durch die Beileitung von Rohwasser aus der Talsperre Rauschenbach eine Kompensation der Leistungsfähigkeit (1000 Liter je Sekunde) des oben genannten Talsperrensystems erreicht. Unter Berücksichtigung der regional prognostizierten Klimaänderungen wäre eine solche Leistungsfähigkeit des Talsperrenverbundes nicht mehr garantiert [10].

### 3.4 Folgen und Risiken für die Landwirtschaft

Im globalen Maßstab ergeben – unter Verwendung globaler Klimamodelle – Simulationen zur Ertragsbildung von Kulturpflanzen der Nordhemisphäre, bei derzeit regionalüblichen Sorten, eine Nordwanderung der optimalen Wachstumsgebiete vieler Kulturpflanzen [5]. Für das Untersuchungsgebiet bedeutet dies, dass dürrebedingte Ertragsausfälle, wie sie im Jahr 2003 zu verzeichnen waren, zukünftig häufiger zu erwarten sind (Bild 8).

Stark ausgetrocknete Bodenoberflächen erhöhen die Gefahr der Erosion durch Wind. Dagegen erhöhen vermehrt auftretende, extreme Niederschlagsereignisse das Risiko fluvialer Bodenerosion sowie von Überschwemmungen (Bild 9). Insgesamt ist das Risiko hinsichtlich der Ertragsbildung an das Wasserdargebot als ertragslimitierenden Faktor gekoppelt. Wesentlich ist hierbei auch die Bodenart des Standortes in Verbindung mit seinem Wasserspeichervermögen. In Abhängigkeit des Bodens stellt sich das Risiko der Ertragsminderung unterschiedlich dar. So werden (und sind bereits) die sandigen Böden der sächsischen Heide- und Teichlandschaften durch einen Negativtrend des pflanzenverfügbaren Wassers während der Vegetationsperiode, induziert durch Niederschlagsrückgang, betroffen sein. Neben wasserbedürftigen Fruchtarten wie Kartoffeln, Rüben, Weizen etc. hat selbst der trockenolerante Roggen im Dürrejahr 2003 mit Ertragsrückgängen reagiert [8]. Im Gegensatz dazu wird es bei Löß-Standorten wichtig sein, sich acker- und pflanzenbaulich auf die zu erwartenden hohen Niederschlagsintensitäten während der Vegetations-

periode einzustellen [9].

Eine Verlängerung der Vegetationsperiode, durch steigende Temperaturen im Winter und Frühjahr, sowie die vergleichsweise niedrigeren Jahresmitteltemperaturen (beides anbau- und ertragslimitierende Faktoren) könnten die Bedingungen für beispielsweise Weizen- und Maisanbau auf den Verwitterungsstandorten der Mittelgebirgslagen wahrscheinlich günstiger werden lassen [10].

### 3.5 Folgen und Risiken für die Forstwirtschaft

Hinsichtlich der für den Wald restriktiv wirkenden Umweltfaktoren Wasserdargebot (insbesondere im Tiefland) sowie Wärme (insbesondere im Mittelgebirge) erscheint es aus den Szenarien wahrscheinlich, dass erhebliche Verschiebungen der potenziell natürlichen Baumartenverteilung und deren Zusammensetzung sowie Struktur möglich sind [10].

Für die Mittelgebirgslagen ist – zwar zunehmend, aber nicht flächendeckend – mit temporärem Trockenstress zu rechnen. Derzeit noch planare und kolline Waldgesellschaften werden aufgrund der Temperaturerhöhung bis in die höheren Lagen der Mittelgebirge hinein standortgerecht sein [10].

In den trockensten Regionen wird eine Waldstrukturangepassung sowie der Anbau besonders trockenoleranter Baumarten erforderlich werden. 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 [10].

## 4 Strategien und Maßnahmen zur Milderung der Folgen des regionalen Klimawandels

Seit einigen Jahren werden zwei Strategien zur Reaktion auf die Folgen des regionalen Klimawandels verfolgt. Neben Maßnahmen zur Milderung 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 die Züchtung und den verstärkten Anbau trockenoleranter und hitzeverträglicher Nutzpflanzen in den Tieflandsgebieten und den Waldumbau zu naturnahen und gegenüber Extremereignissen stabileren Mischwaldsystemen.

Im *Tourismusbereich* wird eine Umgestaltung von Erholungsräumen notwendig sein, um verstärkt Ausweich- und Schutzmöglichkeiten vor sommerlichem Hitzestress zu schaffen. Der klassische Wintersport wird in einigen Dekaden wahrscheinlich nur noch in den Kammlagen der Mittelgebirge und unter größerem technischen Aufwand (z. B. Einsatz von Schneekanonen) möglich sein. Hier ist ein Umdenken im Sinne eines ganzjährigen flexiblen und abwechslungsreichen Freizeitangebotes unabhängig vom klassischen Wintersport notwendig.

In der *Energiewirtschaft* wird mit einer jahreszeitlichen Verschiebung des Bereitstellungsumfanges zu rechnen sein. Einerseits wird der Heizbedarf durch die ansteigende Wintertemperatur geringer, andererseits nimmt der Energiebedarf durch verstärkte Klimatisierung infolge höherer Sommertemperatur zu. Hier besteht Energieeinsparpotenzial

durch technische Umrüstung bzw. neue Planungskonzepte von Gebäuden (unter anderem Wärmedämmung, Dachbegrünung, Belüftungssysteme). Die wahrscheinliche Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit in den Wintermonaten und der Sonnenscheindauer in den Sommermonaten erhöht das Potenzial regenerativer Energiequellen (Windkraft, Solartechnik, Biomasse). Die Erhöhung des Anteils dieser Quellen an der Energieproduktion ist Bestandteil eines EU-Konzepts und trägt zur Einsparung treibhauswirksamer Emissionen bei.

Die Wasserwirtschaft steht in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen vor dem Problem, bei sinkendem Gesamtdargebot in der Vegetationsperiode die Maßnahmen zum Hochwasserschutz auszubauen. Dazu sollte das Einsparpotenzial in Industrie und Landwirtschaft genutzt und der Überschuss an Niederschlagswasser in den Wintermonaten optimal gemanagt werden. Eine regionalklimatische Ausgleichswirkung auf sommerliche Dürreperioden wird bei den gefluteten Tagebaurestlöchern in der Lausitz und im Raum Leipzig vermutet. Für belastbare Ergebnisse fehlen allerdings noch ausreichend Untersuchungen durch Messungen und Modelle.

## Literatur

- [1] Bernhofer, C.; Goldberg, V.; Franke, J.: REKLI – Aufbau einer Klimadatenbank und Regionale Klimadiagnose für Thüringen. Abschlussbericht der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie. Jena, 2003

- [2] Enke, W.; Deutschländer, T.; Schneider F.; Küchler, W.: Results of five regional climate studies applying a weather pattern based downscaling method to ECHAM4 climate simulations. In: Meteorologische Zeitschrift **15** (2005) 2, S. 247 – 257
- [3] Franke, J.; Goldberg, V.; Eichelmann, U.; Freydank, E.; Bernhofer, C.: Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Germany. In: Climate Research **27** (2004) 2, S. 145 – 150
- [4] Franke, J.; Goldberg, V.; Bernhofer, C.: Regionale Klimatrends für Mitteldeutschland. Deutsch-Österreichisch-Schweizerische Meteorologen-Tagung. Tagungsband. Karlsruhe, 7. bis 10. September 2004
- [5] IPCC: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chap. 5 and 13. Cambridge University Press, 2001
- [6] Koppe, Ch.; Jendritzky, G.; Pfaff, G.: Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. Klimastatusbericht des Deutschen Wetterdienstes. Offenbach, 2003
- [7] Mellentin, U.: Persönliche Mitteilungen. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Dresden, 2005
- [8] Rapp, J.; Schönwiese, C.: Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891 – 1990. In: Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten. Bd. 5. Frankfurt/Main, 1996
- [9] Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft: Statements zur Entwicklung und Erprobung standortangepasster Anbausysteme für Sachsen unter besonderer Berücksichtigung der Klimaänderung. Dresden, 2004
- [10] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Landesforstpräsidium, Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen: Klimawandel in Sachsen. Dresden, 2005
- [11] Seifert, W.: Klimaänderung und (Winter-) Tourismus im Fichtelgebirge – Auswirkungen, Wahrnehmungen und Ansatzpunkte zukünftiger touristischer Entwicklung. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Universität Bayreuth, 2004
- [12] Schönwiese, C. et al.: Klimastatement der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft, Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie und der Schweizerischen Gesellschaft für Meteorologie. Frankfurt a. M., September 2003
- [13] Werner, P. C.; Gerstengarbe, F. W.; Oesterle, H.: Klimatypänderungen in Deutschland im 20. Jahrhundert. Klimastatusbericht 2001 des Deutschen Wetterdienstes. Offenbach, 2001



**Franke, Johannes**

Dipl.-Geogr.

Studium Geographie von 1996 bis 2001 an der TU Dresden ♦ 2001 Studienabschluss als Diplomgeograph ♦ seit 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Hydrologie und Meteorologie, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden



**Mellentin, Udo**

Dipl.-Ing.

Studium Hydrologie von 1988 bis 1993, Wasserbewirtschaftung von 1990 bis 1995 an der TU Dresden ♦ 1993 Studienabschluss als Diplomhydrologe ♦ 1995 Studienabschluss als Diplomingenieur ♦ seit 2004 tätig im Sachgebiet Klimawandel, Klimafolgen am Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden



**Goldberg, Valeri**

Dr. rer. nat.

Studium Meteorologie von 1988 bis 1993 an der Humboldt-Universität zu Berlin ♦ 1999 Promotion zum Dr. rer. nat. ♦ seit 1995 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Hydrologie und Meteorologie, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden



**Bernhofer, Christian**

Prof. Dr. rer. nat. habil.

Studium Meteorologie und Botanik von 1973 bis 1980 an der Universität Wien ♦ 1980 Promotion zum Dr. phil. ♦ 1993 Habilitation zum Dr. rer. nat. habil. ♦ seit 1993 Professor für Meteorologie am Institut für Hydrologie und Meteorologie, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden