



# Inhalt

## Klima und Klimawandel

Uns wird's heiß ...



Sachsens Klima im Wandel – sind wir schon mitten drin?	4
Klimaentwicklung in Sachsen – Unsere Aussichten für das 21. Jahrhundert	14
Exkurs: Die Wissenschaft vom Wetter	20
Exkurs: Wetter und Klima – wo liegt da der Unterschied?	22
Exkurs: Phänologie – Die Jahreszeiten der Pflanzen	25
Dynamik des Klimasystems und globaler Klimawandel	28
Exkurs: Klima schreibt Geschichte – Der Blick in die Vergangenheit	44
Exkurs: Der Blick in die Zukunft – Klimamodellierungen für das 21. Jahrhundert	48

## Klimafolgen und Anpassungsstrategien



Auswirkungen der Klimaentwicklung und unsere Potenziale	
Das Gesetz von Ursache und Wirkung – Die Folgen der Klimaänderungen in Sachsen	51
Klimawandel – Ein Experiment mit ungewissem Ausgang	68

## Wer rettet die Welt? Unsere Handlungsmöglichkeiten



Von der Politik der kleinen-großen Schritte bis zu mir selbst	
Es gibt viel zu tun – Sachsens Klimaschutzpolitik	72
Exkurs: Klimaschutz geht alle an! Von Rio nach Kyoto bis Berlin Deutschland – Ein Vorreiter im Klimaschutz	80
Lösungen mit Zukunft – Technologien und Berufe für das 21. Jahrhundert	85
Energie in unserem Alltag Und mein Beitrag zählt doch ...	89

## Klima in der Diskussion



Glaubenstragen zum Klimawandel und Fakten der Klimaforschung	
Alles nur heiße Luft?	98
Klimaforscher – zuverlässige Informationsquellen	100



# KLIMAWANDEL

## Sind wir schon mitten drin?

In allen Medien hören und lesen wir vom Klimawandel. Nicht nur bei uns; auf der ganzen Welt spüren wir bereits die Klimaänderungen und die dramatischen sozialen, ökologischen und ökonomischen Folgeschäden – und das ist wahrscheinlich erst der Anfang! Doch ist der aktuelle Klimawandel wirklich der Grund für häufigere Flutkatastrophen und Stürme, Regenfälle und Dürren, Hitzewellen und Waldbrände, abschmelzende Gletscher und das Artensterben?

Klimaexperten auf der ganzen Welt sehen diese Ereignisse seit langem als Folge der Erderwärmung, die sie auf den zunehmenden Ausstoß von Treibhausgasen zurückführen. Sie befürchten außerdem unumkehrbare und plötzlich eintretende Klimaänderungen mit nicht absehbaren Folgen. Schlägt die Natur wirklich zurück, oder ist das alles nur Panikmache?

Und was ist mit dem launischen Wetter? Über kaum ein anderes Phänomen reden die Menschen so gern und oft. Spiegelt das Wettergeschehen: Regen, Hagel, Sturm und Hitze auch den Klimawandel wider?

Alle diese Fragen bewegen uns. Denn bisher war es nicht möglich und wird auch in Zukunft nicht möglich sein, absolut sichere Aussagen über die Auswirkungen des Klimawandels im 21. Jahrhundert zu liefern. Auch wenn niemand sagen kann: „Genauso wird es

kommen!“ müssen wir HEUTE schon etwas für ein lebenswertes MORGEN unternehmen. Der Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre ist eine gemessene Tatsache, die selbst Leugner des Klimawandels nicht anzweifeln. Tatsache ist auch, dass wir Menschen dafür verantwortlich sind, was sich ebenfalls unmittelbar aus den Daten ergibt. Eine weitere Tatsache: mithilfe der wissenschaftlichen Untersuchungen und Projektionen sind wir die Generation, die schon genug weiß, um handeln zu können – und zu müssen. Denn schließlich haben wir nur eine Welt!



### SIND WETTEREXTREME GLEICH KLIMAEXTREME?

- Wo liegt die Lösung? Ist das Klima denn noch zu retten?
- Was ist sinnvoller Klimaschutz?
- Was können die westlichen Industrienationen (als Verursacher) tun?
- Was bringen erneuerbare Energien und neue Technologien?
- Und was hat das mit mir zu tun?

### MILLIONENSCHÄDEN DURCH RIESENHAGEL

„Leipzig/Neubrandenburg (dpa) In nur etwa 15 Minuten hat das schwere Unwetter mit teils faustgroßen Hagelkörnern am Freitagabend in Westsachsen einen Schaden in Millionenhöhe angerichtet. Sieben

Menschen wurden durch den Hagelsturm zwischen Leipzig und Chemnitz verletzt. Die Hagelkörner verbeulten Auto-bleche, durchschlugen Glasscheiben und Dächer ...“

### TORNADO VERWÜSTET GANZE DÖRFER

Wenige Minuten haben gereicht, um ganze Landstriche in Brandenburg und Sachsen zu verwüsten. Ein kleines Mädchen kommt im Tornado ums Leben, knapp 40 Menschen werden verletzt. Die Schäden des Wirbelsturms zu beseitigen, wird wohl Wochen dauern.

## HILFE, SACHSEN TROCKNET AUS

(BILD 22.09.08)



# SCIENCE FICTION

## oder ein realistischer Blick in die Zukunft?

### Chancen und Risiken zwischen 2000 und 2050 – in Sachsen

Flut **2002** : Pegelstände auf Rekordniveau

25.05. **2010** : Tornado fegt über Sachsen hinweg und zerstört große Teile der Stadt Großenhain und Umgebung.

August **2010** : Lang anhaltende sintflutartige Regenfälle führen zu einem Anstieg der Pegel zahlreicher sächsischer Flüsse. Besonders betroffen ist u. a. die Lausitzer Neiße. Die Innenstädte von Zittau und Görlitz wurden evakuiert.

**2014** : Dürre in Sachsen sorgt für Millionenschäden in der Landwirtschaft, 130 Menschen sterben durch die Hitzewelle mit Temperaturen von über 40 °C.

**2020** : Von der Vision zur Realität ... jetzt wird jeder Neubau im Passivhausstandard errichtet!

**2030** : Sachsen rüstet als erstes Bundesland komplett auf erneuerbare Energien um.

Landwirtschaftsbericht **2033** : Die Bananen- und Feigenplantagen in Göhrenz bei Leipzig erwirtschaften weitere satte Gewinne.

**2045** : Erzgebirge: kein Schnee im Winter! Wintersport schon seit Jahren nicht mehr möglich.

**2050** : Die Ansiedlung von weiteren 15.000 Klimaflüchtlings aus Asien und Afrika in Nordsachsen führt nach starken politischen Debatten zu einer Wiederbelebung aufgegebenen Siedlungen im ländlichen Raum.

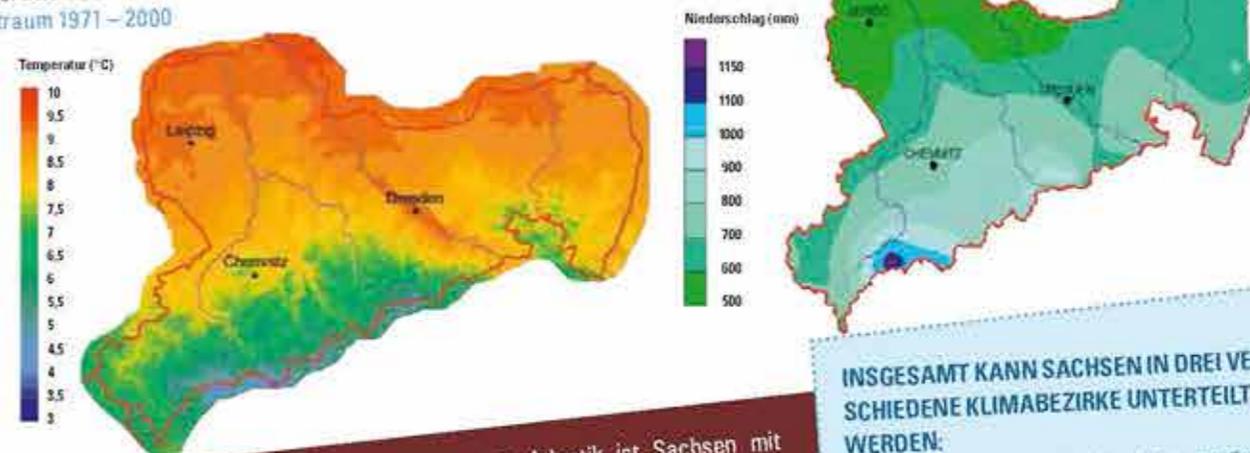
## Abwechslungsreich und reizvoll: Das Klima in Sachsen heute

Mitteleuropa hat – bedingt durch seine geographische Breite und den Einfluss des Golfstroms – ein sehr mildes Klima, wenn man es mit Orten in Nordamerika oder Asien vergleicht, die auf demselben Breitengrad liegen. Deutschland und damit Sachsen gehören zur Gemäßigten Klimazone und liegen in der Übergangszone zwischen maritimem westeuropäischem und kontinentalem osteuropäischem Klima. Dabei variiert das Klima in Abhängigkeit von den Klimafaktoren wie Höhenlage und Meeresnähe.

Im Elbtal zwischen Pirna und Meißen gedeiht Wein (langjährige Jahresmitteltemperatur von 1980-2009 in Dresden-Klotzsche: 9,2 °C), auch die Leipziger Tieflandsbucht gilt als klimatisch begünstigt. Im Bergland, besonders zum Kamm des Erzgebirges hin, überwiegt

raue Witterung (langjähriges 30-Jahresmittel Fichtelberg 3,5 °C) mit höheren Niederschlagsmengen, die im Winter – noch – nahezu schneesichere Pisten garantieren. Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur für ganz Sachsen liegt heute bei ca. 9 °C.

LANGJÄHRIGES MITTEL VON TEMPERATUR UND NIEDERSCHLAG IN SACHSEN  
im Zeitraum 1971 – 2000



Aufgrund seiner größeren Entfernung zum Atlantik ist Sachsen mit mittleren Jahresniederschlägen von 650 mm im Vergleich zu Deutschland (850 mm) relativ trocken. Das liegt vor allem an der topografischen Struktur (Relief), insbesondere die Lage der Gebirge führt zu Luv- und Lee-Effekten. Bei südwestlichen Windrichtungen, hauptsächlich im Winter, verursacht das Erzgebirge Föhnwind-Effekte mit entsprechender Erwärmung und zusätzlichem Regenschatten auf der Erzgebirgsnordseite. Die niederschlagsreichsten Gebiete sind die Westhänge der Erzgebirgskammern. Im Gegensatz zu Harz und Thüringer Wald ist das Erzgebirge wegen des sommerlichen Niederschlagsmaximums ein Sommerregentyp.

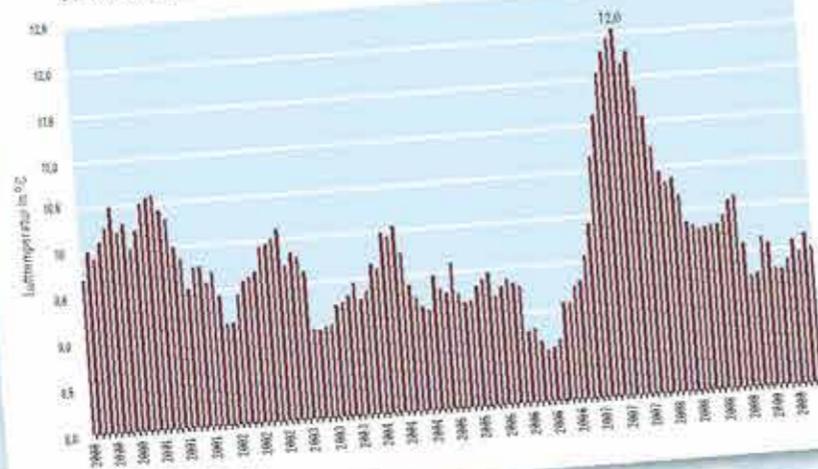
### INSGESAM KANN SACHSEN IN DREI VERSCHIEDENE KLIMABEZIRKE UNTERTEILT WERDEN:

- das Deutsche Mittelgebirgsklima mit Erzgebirge und Vogtland
- das Deutsche Berg- und Hügellandklima mit Mittelgebirgsvorland und Elbsandsterngebirge
- das Ostdeutsche Binnenlandklima mit Leipziger Tieflandsbucht, der Lausitz und dem Elbtal

# Sachsen im Klimawandel

Das Wetter spielt zunehmend verrückt – aber spiegelt es auch den Klimawandel wider? Waren die Flut 2002 und die Dürre 2003 Einzelereignisse, bedingt durch ungünstige meteorologische Umstände? Auch Überschwemmungen, Tornados und Stürme, starke Regenfälle und Hitzewellen sind noch keine Beweise. Schließlich sind Wetterkapriolen und Katastrophen nichts Neues: Es gab schon immer zu kalt, zu warm, zu trocken, zu nass. Trotzdem: „Es gibt 1.000 Indikatoren für den Klimawandel“, sagt Manfred Stock vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Um Klimaänderungen zu identifizieren, werden die langfristigen Trends, die Jahrgänge oder auch die Extremereignisse von Klimaparametern untersucht.

Gleitende 12-Monates-Mittelwerte der Lufttemperatur Dresden 2000-2009



Das Ergebnis: In Deutschland und Sachsen hat sich die Temperatur- und Niederschlagscharakteristik in den letzten Jahrzehnten bereits signifikant verändert. Die letzten 10 Jahre des 20. Jahrhunderts waren in Sachsen, Deutschland und weltweit das wärmste Jahrzehnt des Jahrhunderts, die Dekade 2000-2009 die wärmste überhaupt seit 1861.

## Schauen wir genauer hin:

- ☑ Das Jahr 2000 (Jahresmitteltemperatur 9,9 °C) war das wärmste Jahr seit 1901, gefolgt vom Jahr 2007.
- ☑ Sommer 2003, Herbst 2006, Winter 2006/2007 und Frühjahr 2007 – die Wärmsten in Deutschland und Sachsen seit Beginn der instrumentellen meteorologischen Messungen 1761 bzw. 1812.
- ☑ Juli 2006 – heißester Monat in Deutschland seit Beginn der Wetteraufzeichnung.
- ☑ April 2009 – wärmster April in Deutschland (Mitteltemperatur: 11,8 °C) und Sachsen (Mitteltemperatur: 13,0 °C) seit Messbeginn.
- ☑ Die Durchschnittstemperatur für den Zeitraum Juli 2006 – Juni 2007 lag in Deutschland 3,1 Grad und in Dresden 3,4 Grad über dem Referenzwert von 1961 – 1990.
- ☑ Sachsen war im Jahr 2010 mit 7,2 °C das kälteste und mit 134 % des Solls das nasseste Bundesland.

Kein Zweifel also! Das Klima wandelt sich – und wir sind schon mitten drin!

# Temperatur

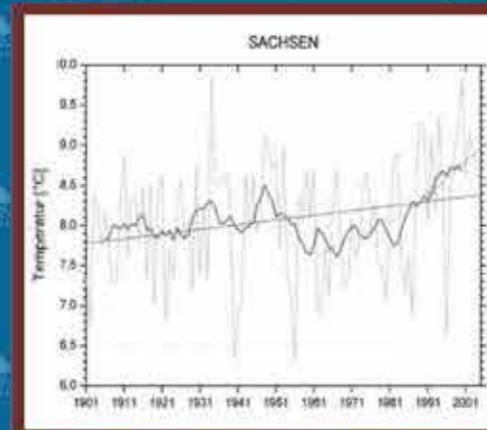
In allen Jahreszeiten wird es wärmer. In den letzten 30 Jahren (1980-2009) lag die Temperaturzunahme in Sachsen – wie auch im Mittel für Deutschland – bei rund 0,5 K pro Jahrzehnt. Der Temperaturanstieg ist bei uns also weit stärker ausgeprägt als im globalen Mittel.

	Linearer Trend 1900-2000	Linearer Trend 1900-2009
Global	0,6 K	0,7 K
Deutschland	0,9 K	1,2 K
Sachsen	0,7 K	0,9 bis 1 K

In Sachsen erhöhte sich damit die Jahresmitteltemperatur flächendeckend um 0,9 Grad – im Winter ist sie lokal sogar um 1,4 Grad bis 2,6 Grad gestiegen. Die Folge: mildere Winter, weniger Eis- und Frosttage.

Mit der Erwärmung nahm seit 1970 auch die potenzielle Verdunstung um 6 bis 16 % zu, und zwar in Abhängigkeit von den Höhenstufen und der von West nach Ost zunehmenden Kontinentalität. Das Dresdner Elbtal weist aufgrund seiner strahlungs- und temperaturbegünstigten Lage die höchste potenzielle Verdunstung Sachsens auf.

Zeitraum	Änderung pro Jahr	Mittelwert
1901-2005	+0,006 °C	8,1 °C
1961-1990	+0,023 °C	7,9 °C
1991-2005	+0,04 °C	8,7 °C
2000-2009	-	9,1 °C



Langzeitrend der Jahresmitteltemperatur [°C] in Sachsen. Fettgedruckt: signifikante Trends

- mittlere Temperatur (Urtreihe)
- mittlere Temperatur (Vielpassgefiltert)
- linearer Trend Urtreihe
- linearer Trend 1961-1990
- linearer Trend 1991-2005



Mittlere Jahressumme der potenziellen Verdunstung (mm) in Sachsen

Mithilfe der Phänologie (siehe auch Seiten 12, 25) lässt sich außerdem im Zeitraum von Februar bis April eine deutliche Verfrühung und damit Verlängerung der Vegetationsperiode beobachten: in weiten Teilen des nordwestsächsischen Tieflands beginnt sie bereits vor dem 15. März eines Jahres und verlängert sich bis zu 2 Wochen.



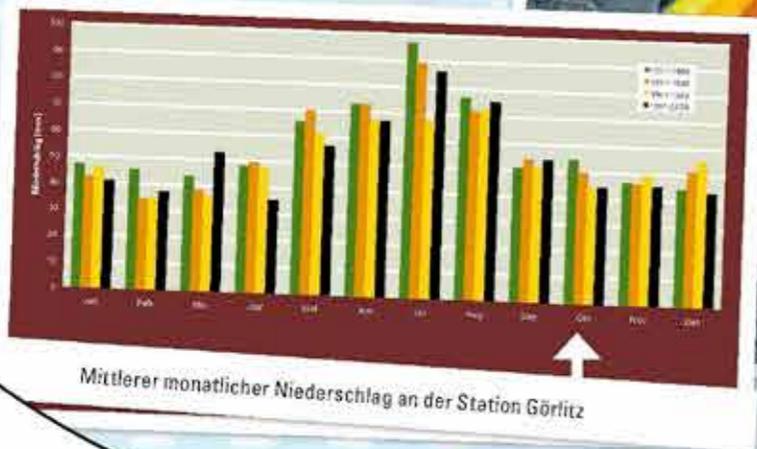
Mittlere Andauer (d) der Vegetationsperiode in Sachsen.



### Niederschlag

Während in Deutschland die Niederschläge im Jahresmittel ungefähr gleich bleiben, misst die Mehrzahl der Klimastationen Sachsens abnehmende Jahresniederschlagsmengen. Auffallend ist ein markanter Rückgang im Sommer, vor allem in Nordsachsen und Ostsachsen um etwa 10 bis 30 %. Die Niederschläge nehmen im Winter in vielen Teilen Sachsens zwar zu, können aber das

sommerliche Niederschlagsdefizit nicht ausgleichen. Gleichzeitig gibt es immer weniger Schnee in den Mittelgebirgen. Dass Sachsen im Winter deutlich weniger Niederschläge als im deutschen Durchschnitt erhält, liegt an den Lee-Effekten der Sachsen vorgelagerten Mittelgebirge Fichtelgebirge, Thüringer Wald und Erzgebirge. Vor allem das Erzgebirge bildet eine Regenbarriere.



Mittlerer monatlicher Niederschlag an der Station Görlitz

## Wetterextreme

Durch die in Folge der Erwärmung instabilere Atmosphäre treten gehäuft extreme Wetterereignisse auf. So nehmen im Frühjahr und Sommer in Sachsen die Starkniederschläge mit Tagessummen  $\geq 20$  mm zu. Diese treten jedoch nur lokal auf. Außerdem gibt es im April, Mai und Juni (= Vegetationsperiode 1) mehr Trockenzeiten. Am stärksten ausgeprägt ist dieser Trend ebenfalls in Nordsachsen sowie im Vogtland, Westerzgebirge und im Erzgebirgsbecken.

### Extremereignisse der vergangenen Jahre in Sachsen:

- ☑ das Hochwasser 2002
- ☑ die Dürreperiode 2003
- ☑ der Sommer 2003 (mit vielen Todesopfern in ganz Europa)
- ☑ der Herbst 2006 (wärmster seit Beginn der Wetteraufzeichnungen)
- ☑ der Winter 2006/2007 (wärmster seit Beginn der Wetteraufzeichnungen)
- ☑ der April 2007 (trockenster seit Beginn der Wetteraufzeichnungen)
- ☑ der April 2009 (wärmster seit Beginn der Wetteraufzeichnungen)
- ☑ der Dezember 2010 (kältester Dezember seit 40 Jahren)

Obwohl es in Sachsen im Sommer künftig trockener wird – was mit Dürreereignissen einhergeht, werden lokal eng begrenzte, extreme Starkniederschläge wie im August 2002 oder im August 2010 zunehmen!



07. August 2010: Und wieder Hochwasser in Sachsen

### Starkregen legt Chemnitz lahm

Die Stadt Chemnitz erlebte in den Morgenstunden des 7. August 2010, acht Jahre nach dem Jahrhunderthochwasser, überflutete Straßen, Erdbeben, mit Wasser gefüllte Keller, Stromausfälle und Wassermassen mit gefährlichem Treibgut.

### Kirnitzschhochwasser ...

Nach etwa 24 Stunden Starkregen bahnt sich in den Nachmittagsstunden des 07.08.2010 ein Kirnitzschhochwasser an. Ab etwa 16:00 steigt die Kirnitzsch rasant. Der Höchststand im Kirnitzschabschnitt wird um etwa 20:30 Uhr mit 3,60 m über Mittelwasser erreicht. Die Kirnitzsch ist plötzlich 45 m breit, 4 m tief und fließt mit 3 m/s. Das sind etwa 80 m<sup>3</sup>/s Wasser - ein Viertel soviel, wie normalerweise die Elbe führt.



Kein Zweifel: Das Klima in Sachsen ändert sich! Die seit 1901 beobachteten Klimatrends und -tendenzen gelten als Indikatoren für den einsetzenden Wandel – und werden sich in Zukunft noch verstärken.



### NACHGEFRAGT:

Was sind die Ursachen für diese Entwicklung? Und welche Einflussgrößen sind in der Lage, unser Klima weltweit zu ändern?

# GRÜNE BOTEN DER GEGENWART UND ZUKUNFT – WAS UNS DIE PFLANZEN ÜBER DEN WANDEL DES KLIMAS VERRATEN

Wie viel Klimawandel vertragen unsere Pflanzen (und Tiere)? Und wie verändert sich die Zusammensetzung der uns bekannten Pflanzenwelt?

Pflanzen sind wichtige **Bioindikatoren**. Sie reagieren sofort auf veränderte Bedingungen wie höhere Temperaturen. Mithilfe phänologischer Daten – also dem biologischen Zyklus der Wachstums- und Entwicklungserscheinungen von Zeigerpflanzen im Laufe eines Jahres – lassen sich vor allem der regionale Klimawandel und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Biosphäre (Pflanzen- und Tierwelt) gut nachweisen.

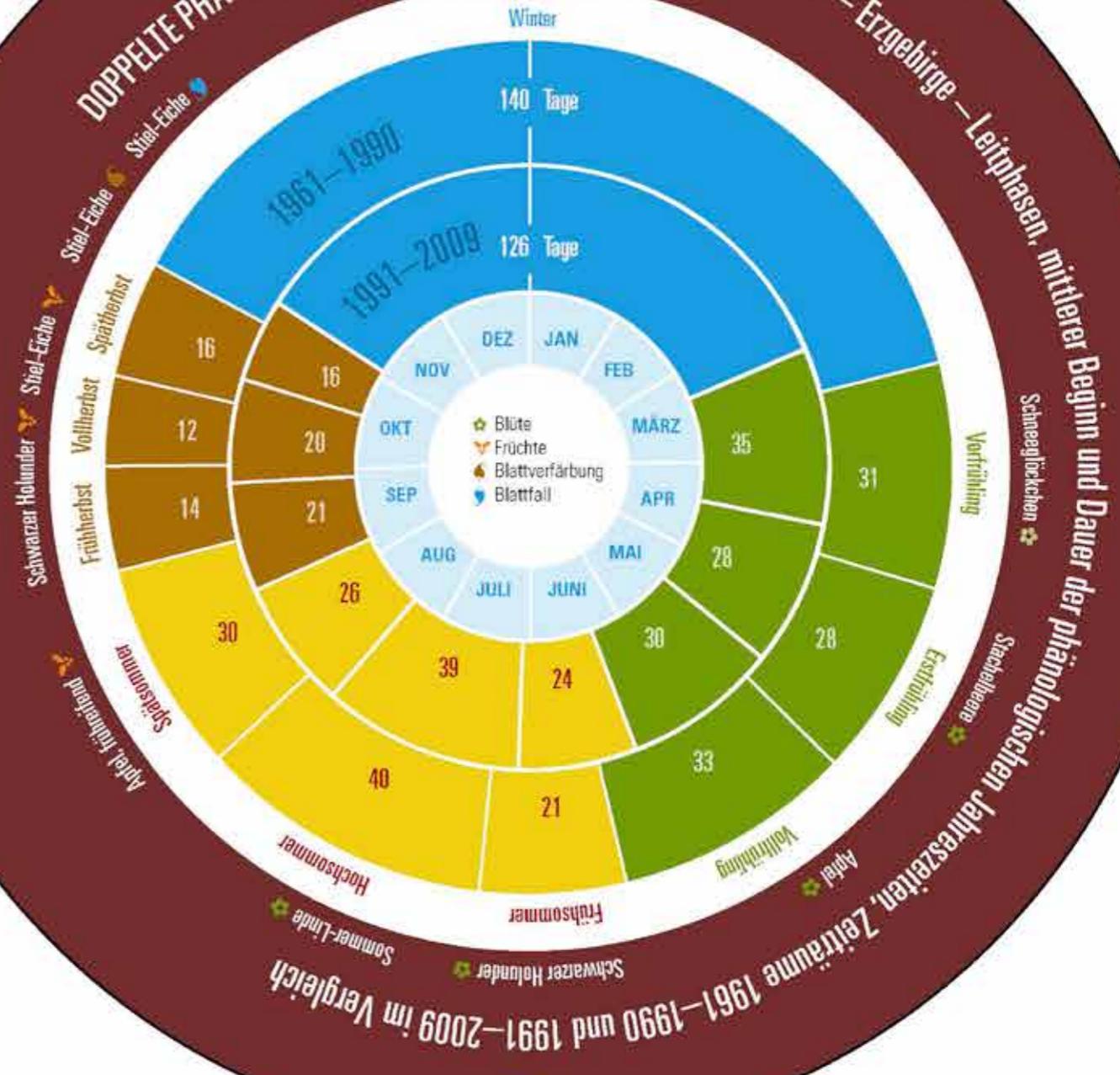
Schon heute setzt das Frühjahr zeitiger ein als in den 1980er Jahren – verlängert sich die Vegetationsperiode der Pflanzen, wie die Abbildung der doppelten phänologischen Uhr zeigt. Auch ein aufmerksamer Blick in die Natur belegt: Diese signifikanten Trends lassen sich bei nahezu allen Pflanzenarten nachweisen – für wild wachsende Pflanzen, für Obstgehölze und landwirtschaftliche Nutzpflanzen!

Die Natur reagiert auf die negativen wie positiven Auswirkungen des Klimawandels und passt sich so den veränderten neuen klimatischen Gegebenheiten an.

*Aber nicht nur die Pflanzen helfen uns ein genaueres Bild zum Wandel des Klimas zu erhalten: auch in der Tierwelt liefern veränderte Brutzeiten, die verkürzte Winterruhe das Ein- und Abwandern von Tierarten (Artenverschiebung) oder gar das (Aus-)Sterben von Arten wichtige Informationen.*



## DOPPELTE PHÄNOLOGISCHE UHR FÜR EIN SPÄTGEBIET IN SACHSEN – Erzgebirge – Leitphasen, mittlerer Beginn und Dauer der phänologischen Jahreszeiten, Zeiträume 1961–1990 und 1991–2009 im Vergleich



# KLIMAENTWICKLUNG IN SACHSEN

## Unsere Aussichten für das 21. Jahrhundert

Kaffee unter Palmen in Leipzig genießen? Eine romantische Vorstellung – aber leider die falsche! Denn es wird vermutlich anders kommen: Von nahezu ausgetrockneten Flussbetten zu Jahrhundertfluten. Von der Windstille zum Orkan. Und dann auch noch Wintersport adé! Keine guten Aussichten – aber es gibt Auswege. Die Strategie: Wir müssen gegenüber möglichen Folgen des Klimawandels vorsorgen! Und dies geht nur, wenn wir die künftige Klimaentwicklung in Sachsen ausreichend genau beurteilen können.



Wertvolle Informationen dazu liefern uns **Regionale Klimamodelle**. Der Hintergrund: Globale Klimamodelle besitzen für regionale und lokale Prognosen eine zu große Maschenweite der Gitter. Zudem spiegeln sich globale Klimaänderungen in den verschiedenen Regionen der Welt ganz unterschiedlich wider; müssen demnach in keiner Weise repräsentativ für einzelne Regionen oder Standorte sein. So werden die verschiedenen Regionen Deutschlands und Sachsens auch unterschiedlich betroffen sein.

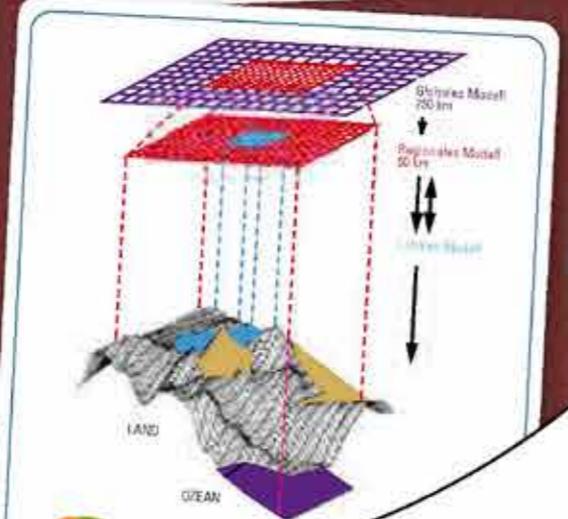
Aus diesem Grund hat das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) unter fachlicher Beteiligung vom CEC Potsdam ein auf Sachsen zugeschnittenes Klimamodell entwickelt: **WEREX**. Der Name steht für die **W**etterlagenbedingte **R**egression für **E**xtrémwerte. Im Vergleich zu anderen Modellen liefert es derzeit die stabilsten und aussagekräftigsten Ergebnisse für Zukunftsszenarien – insbesondere bis zum Jahr 2050 sowie 2100. So können die Forscher nach dem „Wenn-dann-Prinzip“ die Auswirkungen des erwarteten globalen Wandels (basierend auf den von globalen Klimamodellen vorgezeichneten Szenarien) auf das künftige sächsische Klima untersuchen. Die neuesten Projektionen für Sachsen basieren hauptsächlich auf dem Szenario A1B (siehe auch Seite 50).



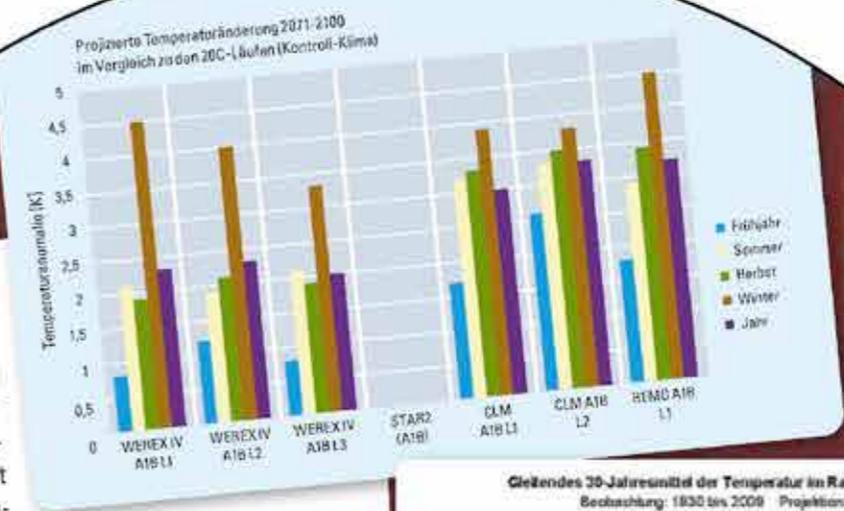
### WIE FUNKTIONIEREN REGIONALISIERUNGSVERFAHREN?

An die Resultate globaler Klimamodelle lassen sich regionale Klimamodelle anknüpfen, um zusätzliche Aussagen für die betrachtete Region zu gewinnen (siehe Abb.). Globale Klimasimulationsergebnisse werden auf einen regionalen Maßstab übertragen, um so die möglichen Auswirkungen z. B. im sächsischen Raum zu simulieren.

**DOWNSCALING-METHODE** (=dynamische Klimaregionalisierung): Einbettung hochauflösender Modelle für einzelne Regionen in ein grobes globales Modell. In das Regional-Modell kann dann nach dem gleichen Prinzip noch ein lokales Modell eingefügt werden.

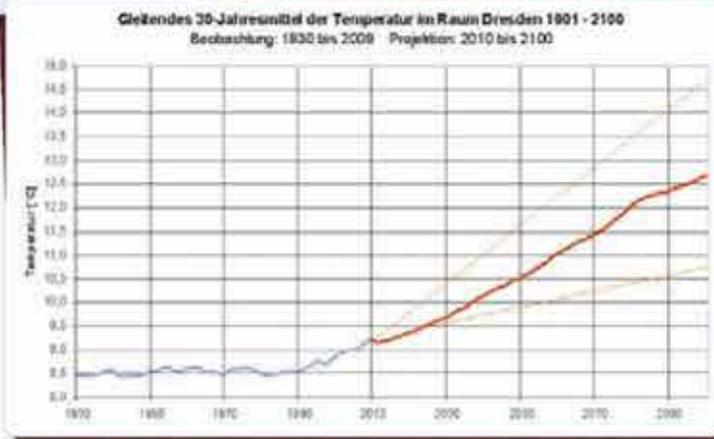


**Das Prinzip von WEREX:** Auf der Grundlage sich ändernder Häufigkeiten von Wetterlagen und unter Einbezug der Szenarien globaler Klimamodelle bestimmt diese Regionalisierungsmethode mögliche Szenarien zur Klimaänderung in Sachsen. Im Mittelpunkt stehen die Temperaturentrends sowie die Tendenzen der Niederschlagscharakteristika. WEREX ermöglicht so Aussagen über die zukünftige Ausprägung von Klimaextremen in Sachsen. Durch den zugrunde gelegten Regionalisierungsansatz können die typisch sächsischen Witterungsverhältnisse, die wesentlich von Luv- und Lee-Effekten insbesondere des Erzgebirges geprägt sind, simuliert werden.



**NEU:** Im Rahmen eines Forschungsprojektes mit dem Namen **REG-KLIM** wurden Ergebnisse regionaler Klimaprojektionen mithilfe verschiedener Modelle für den Freistaat Sachsen ausgewertet und gegenübergestellt. Die Projektionsergebnisse lassen folgende Aussagen zu:

- TEMPERATUR:**
- ☑ In allen vier Jahreszeiten ist ein deutlicher Temperaturanstieg zu erkennen; die stärkste Erwärmung kann im Winter, aber auch im Sommer erwartet werden.
  - ☑ kontinuierlicher Temperaturanstieg im Sommer
  - ☑ übereinstimmend in allen Modellen für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts: Sommertrockenheit



**WETTREG\* 2010-Projektionen für A1B:** Die orangen Linien markieren den Bereich, unter dem die weitere Erwärmung bis 2100 unwahrscheinlich bzw. über dem diese nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann (mit gravierenden Auswirkungen auf Wetter und Witterung).

\* WETTREG = Wetterlagen-basiertes Regionalisierungsmodell

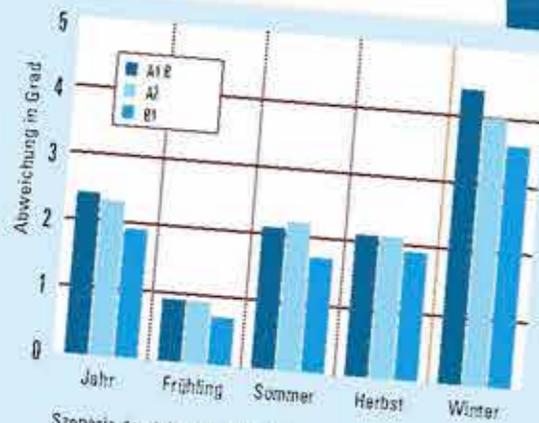
**NIEDERSCHLAG:**  
Umverteilung im Jahresverlauf: abnehmende Niederschläge im Sommer (vor allem zwischen 2051 und 2070 um etwa 20 %) bei gleichzeitig schwach bis moderat zunehmenden Winterniederschlägen (Phasen mit überdurchschnittlichen Niederschlägen und Perioden mit „normalen“ Niederschlags-summen)

# Teils trocken, teils feucht

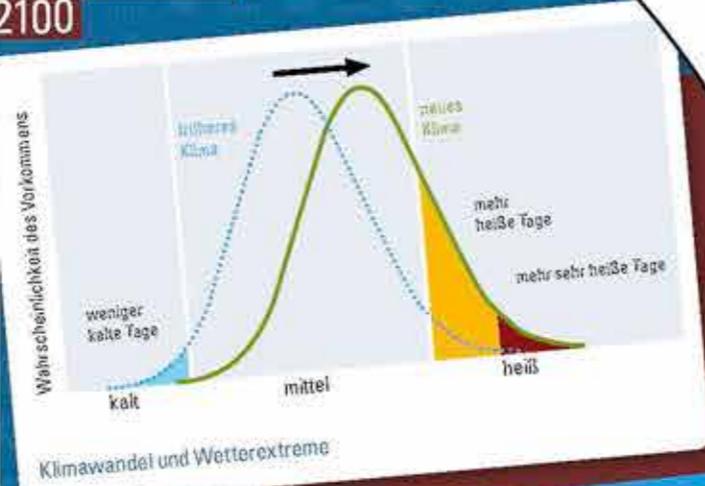
## Unsere Aussichten bis 2100

Im 21. Jahrhundert muss mit drastischen Veränderungen des sächsischen Klimas gerechnet werden. Die aktuellen Simulationen mit dem sächsischen Klimamodell WEREX für die Szenarien B1, A1B und A2 zeigen, dass sich die bereits im 20. Jahrhundert beobachteten Klimatrends und -tendenzen in der Zukunft in Sachsen verstärkt fortsetzen werden:

Die Jahresmitteltemperatur wird sich erhöhen, die Winterniederschläge nehmen leicht zu, die Sommerniederschläge ab, die Winter werden milder, vor allem im Sommer wird es wärmer und trockener; die Folge: häufigere Trockenperioden. Vergleicht man die Kernaussagen der Szenarien B1, A1B und A2, lässt sich die Schwankungsbreite (Variabilität) des möglichen zukünftigen Klimawandels für Sachsen recht gut abschätzen.



Szenario der Jahresmitteltemperaturen der Zeiträume 1971–2000 versus 2071–2100, dargestellt für die einzelnen Jahreszeiten



**WAS BEDEUTET DIE TEMPERATURANGABE IN GRAD?**  
Die Angabe der Temperatur erfolgt in Grad (nicht in °C) als Wert der Änderung aus der Differenz zwischen 2 Perioden, z.B. zwischen 1971–2000 und 2071–2100.

## Heiße Zeiten stehen vor der Tür Die Temperaturentwicklung:

In Sachsen kann es durch den Anstieg der mittleren Lufttemperatur um etwa 3,5 Grad (A1B-Szenario für 2091–2100) in den nächsten 100 Jahren deutlich wärmer werden. Bei einem ungebremsen Klimawandel bis zum Ende des 21. Jahrhunderts kann auch ein Temperaturanstieg von 7,9 °C (1961-1990) auf bis zu 14 °C (2091-2100) nicht ausgeschlossen werden; es gibt durch die Zunahme der Sonnenscheindauer mehr heiße Sommertage: Temperaturmaxima bis zu 42°C und mehr sind nicht

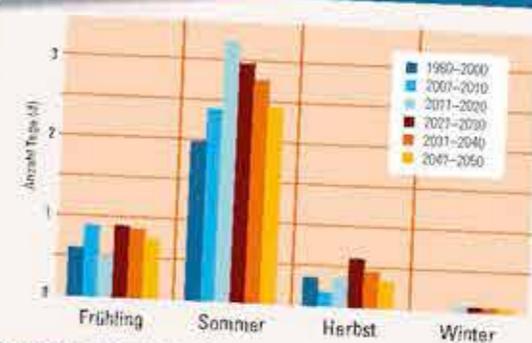
unwahrscheinlich. Auch die potenzielle Verdunstung nimmt zu. Steigt die mittlere Lufttemperatur bereits um 2 Grad, nehmen laut statistischen Untersuchungen die Extremereignisse wie Hitzewellen, Dürreperioden, Starkniederschläge, Hochwasser etc. um 50 bis 100 % zu. Der stärkste Temperaturanstieg von bis zu 4 Grad (A2-Szenario für 2071–2100) wird im Winter erwartet: Frost- und Eistage werden genauso seltener wie eine dichte Schneedecke. Die Kälteperioden im Winterhalbjahr (Oktober bis März) nehmen weiter ab. Strenge, aus der Vergangenheit bekannte Winter, kommen nach dem A2-Szenario in den letzten Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts nicht mehr vor.

**Niederschlag:** Bei der weiter fortschreitenden Erwärmung werden die Winter bis 2100 auch in Deutschland feuchter, die Sommer trockener. Vor allem in Nord- und Ostsachsen gehen die Sommerniederschläge zurück: um mehr als 30 %. Insgesamt müssen wir mit etwa 5 (B1-Szenario für 2071–2100) bis 20 % (A2-Szenario für 2091–2100) weniger Niederschlägen in den Sommerhalbjahren - genau in der Vegetationsperiode - für ganz Sachsen rechnen. Ausgeprägte Hitze- und Dürreperioden wie im Jahr 2003 werden im Sommer (vor allem während April bis Juni) weitaus häufiger und intensiver auftreten als heute. Obwohl es im Sommer insgesamt trockener wird, nehmen in diesen Monaten die Tage mit extremen Niederschlägen lokal zu. Die Gefahr von Hochwassern steigt.

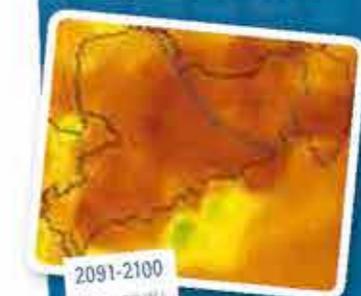
Während für Deutschland die Jahresmittel der Niederschläge ungefähr gleich bleiben, nehmen die Jahresniederschlagsmengen in Sachsen ab: der Winter kann das Niederschlagsdefizit des Sommers bei weitem nicht ausgleichen.



Wintermittlere Lufttemperatur (°C) 2021–2050



Szenario der Anzahl der Tage mit Starkniederschlagsereignissen von mehr als 55 mm Tagesniederschlägen für verschiedene Perioden bis 2050



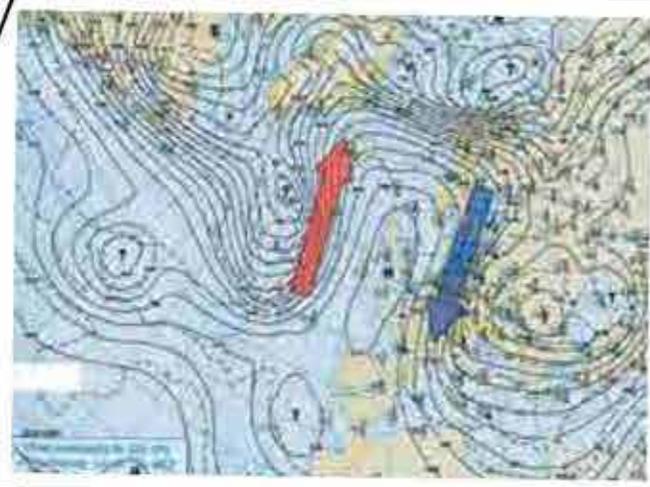
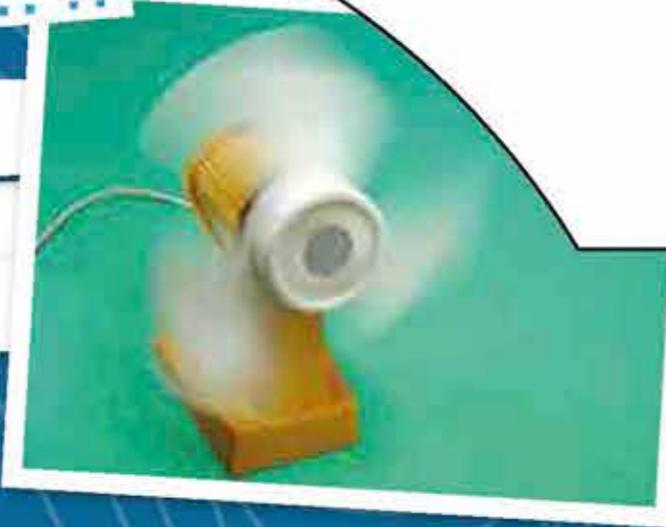
Niederschlag, WEREX IV  
30-jährige Perioden

# Unsere Zukunft ... ??

„Görlitz wird zur Toskana des Ostens“  
(SZ Görlitz 4.5.10)

„Sachsen drohen heiße Zeiten“  
(Dresdner Morgenpost 4.5.10)

„Siesta-Pflicht für Dresden“  
(25.02.07)



REKORDHITZEN WIE IM JULI 2006  
ODER IM „KATASTROPHEN-SOMMER“ 2003  
(Damals starben letzten Schätzungen zufolge bis zu 50.000 Europäer.)

Ausgeprägte nord-süd-orientierte Zirkulationsmuster: erhöhtes Potenzial für Temperaturextreme

Berliner Wetterkarte vom 09.08.2003:  
Höhenwetterkarte 500 hPa, 01 Uhr MEZ  
„Omega-Lage“\*: Extreme Hitze und Dürre  
in West- und Mitteleuropa

\* OMEGA-LAGE:  
Wetterlage, die von einem großen Hochdruckgebiet charakterisiert wird, das von zwei Höhentiefs – eines westlich und eines östlich – flankiert wird. Das so entstandene Druckgebilde erinnert entfernt an den Buchstaben Omega



# plus mehr davon ... (!?)

18. Januar 2006:  
Orkantief „Kyrill“ / Tornado in Wittenberg mit Windgeschwindigkeiten bis zu 202 km/h



Berliner Wetterkarte / Höhenwetterkarte für 500 hPa am 12. August 2002: mit Großwetterlage Trog Mitteleuropa

Vb-Wetterlagen



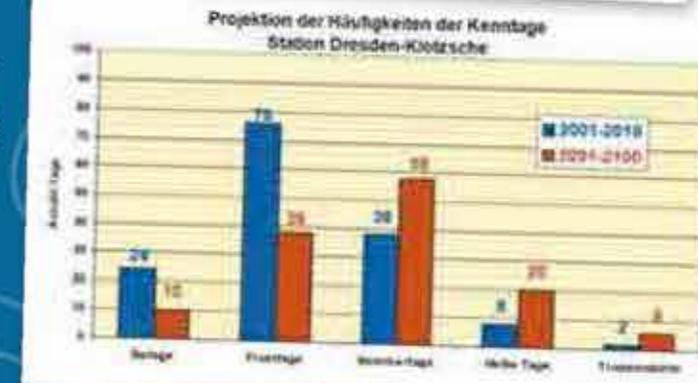
Tief „Norbort“ am 22. August 2005

Sachsen muss sich in der Zukunft – wie Europa auch – auf ausgesprochene Hitze- und Dürreperioden einstellen (mit zum Teil großen Waldbränden im Gefolge) – ebenso auf Starkregen mit Hochwasserereignissen und Stürme mit direkten Zerstörungen.

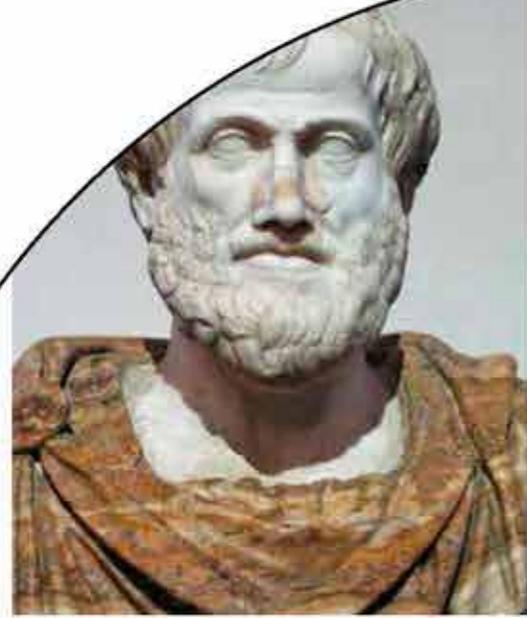
## Versicherung gegen Klimawandel?

Gegen Elementarschäden – Schäden, die durch das Wirken der Natur entstanden sind – kann man sich in Deutschland versichern. Bei der Beitragsberechnung berufen sich Versicherungen auf langjährige Statistiken. Was aber, wenn die Statistik durch die Änderungen der klimatischen Bedingungen nicht mehr aussagefähig ist?

Die Munich Re (früher Münchener Rück) ist die weltweit größte Rückversicherung, die die Versicherungen versichert. Sie warnt vor massiv steigenden Belastungen durch den Klimawandel – mit kräftig steigenden Preisen für den Versicherungsschutz.



NACHGEFRAGT:  
Warum wird von Vulkanausbrüchen, Erdbeben, Hurrikans, und Überflutung als Naturkatastrophen gesprochen? Sie sind doch natürlicher Bestandteil des Systems Erde.  
Was macht eine Katastrophe erst zu einer Katastrophe?  
Und: Sind die immer größer werdenden Schäden dadurch zu erklären, dass menschliche Siedlungen zunehmend in gefährdeten Gebieten wie Fluss- und Küstenniederungen oder Berghängen angelegt werden?



## DIE WISSENSCHAFT VOM WETTER

Legt man den Begriff „Wissenschaft“ nicht zu streng aus, dann gibt es Wetterforscher seit mindestens 2.500 Jahren. Schon im Altertum notierten die Babylonier und Assyrer Wetterbeobachtungen auf Tontafeln. Als Begründer der wissenschaftlichen Meteorologie gelten jedoch die antiken Griechen: Der Arzt Hippokrates (460–370 v. Chr.), der Universalgelehrte und Philosoph Aristoteles (384–322 v. Chr.) – er prägte den Begriff Meteorologie – sowie der Philosoph und Aristoteles-Schüler Theophrast (371–287 v. Chr.). Im Europa des späten 16. Jahrhunderts, vor allem in Italien, entwickelten Forscher die Wissenschaft weiter und erfanden die nötigen Messinstrumente wie das Thermometer (s. Zeitleiste). Als Erfinder des ersten Wetterbeobachtungsmessnetzes gilt der wissenschaftlich interessierte Kurfürst Karl Theodor von der Pfalz: Er gründete in Mannheim um 1780 die „Societas Meteorologica Palatina“ – die Pfälzer Meteorologische Gesellschaft – 39 Messstationen entstanden – davon 36 in Europa, eine in Grönland und zwei in Nordamerika.

Noch heute werden zu den „Mannheimer Stunden“ – um 7, 14 und 21 Uhr Ortszeit – in allen Klimastationen Daten erhoben. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts setzte sich auf Basis von Messdaten die Synoptik als neue Methode der Wettervorhersage durch. Durch die Erfindung des elektrischen Telegraphen 1841 konnte man dann die Wetterdaten allmählich schneller austauschen und Wetterkarten nahe an der „Echtzeit“ zeichnen. Doch erst nach dem verheerenden Sturmereignis am 14. November 1854 im Krimkrieg (1853–1856) errichteten immer mehr Länder nationale Wetterdienste und vereinbarten untereinander Regelungen zum Datenaustausch. Der norwegische Physiker und Meteorologe Vilhelm Bjerknes (1862–1951) berechnete 1904 die Wettervorhersage erstmals auf der Grundlage mathematischer Gleichungen. Der englische Mathematiker Lewis F. Richardson benutzte kurz darauf das noch heute übliche Verfahren der numerischen Wettervorhersage: Ohne Computer benötigte er allerdings für die Berechnung der Druck-Änderungen für den 20. Mai 1910 in Europa 10 Jahre, 64.000 Mitarbeiter rechneten an den Gleichungen! Noch 1947 brauchten elektronische Rechenmaschinen in den USA fünf Wochen für eine 24-Stunden-Vorhersage. Heute schaffen die schnellsten Hochleistungsrechner die globale Wettervorhersage in ein bis zwei Stunden – die Eintreffwahrscheinlichkeit der 24-Stunden-Vorhersage liegt bei 92 %, die der 5-Tages-Prognose bei 70–80 %.

### SCHON GEWUSST?



Der „100-jährige Kalender“, auf den sich noch heute etliche Bauernregeln berufen, entstand in nur sieben Jahren: Zwischen 1652 und 1658 notierte der fränkische Abt Mauritius Knauer täglich seine Wetterbeobachtungen. Seine Aufzeichnungen veröffentlichte der Erfurter Arzt Christoph Hellwig 1701 zum ersten Mal in Form des „berühmten“ Kalenders.

1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000

BAUEN DIE AMEISEN GROSSE HAUFEN,  
KOMMT EIN STRENGER WINTER GELAUFEN.

WENN DIE AMEISEN SICH ZEIGEN,  
IST VORBEI DES WINTERS REIGEN.



**Für alle Überflieger: Entwicklung zur Naturwissenschaft**

- 1 ab 12. Jahrhundert Erstellung von Wetterchroniken in Abteien und Klöstern
- 2 1685 weist Evangelista Torricelli (1608–1644), italienischer Mathematiker, den Luftdruck mit einem Quecksilberbarometer nach
- 3 1714 Gabriel Daniel Fahrenheit (1686–1736), deutscher Physiker und Instrumentenbauer, führt die nach ihm benannte Temperaturskala ein
- 4 1742 Anders Celsius (1701–1744), schwedischer Astronom, debattiert die bis heute am weitesten verbreitete Temperaturskala
- 5 1780 Gründung der „Societas Meteorologica Palatina“, die bis Ende des 19. Jahrhunderts das 1. weltweite Wetterbeobachtungsnetz aufbaut
- 6 1780 Gründung der Wetterwarte auf dem Hohenpeissenberg im Alpenvorland, älteste Bergwetterstation der Erde und erster ununterbrochener Messreihe ab 1780
- 7 1783 erste benannte Wettervorhersage
- 8 um 1800 Entdeckung der wissenschaftlichen Wettervorhersage
- 9 1804 erhält der holländische Entdecker Wilhelm Herschel (1738–1822) das erste europäische Wetterbeobachtungsnetz
- 10 1873 Gründung der IMD (Internationale Meteorologische Organisation, Vorläuferin der 1947 eingerichteten Weltorganisation für Meteorologie (WMO))
- 11 1904 Vilhelm Bjerknes (1862–1951) legt die Fundamente der modernen dynamischen Massenungen
- 12 1913 Entdeckung der räumlichen Abhängigkeit der Wettervorhersage
- 13 1919 Vladimir Köppen (1846–1940) veröffentlicht Entlassung seiner Klimaklassifikation
- 14 1927 Lewis F. Richardson (1887–1953) veröffentlicht das Buch „Wetterprognose auf numerischer Grundlage“
- 15 1928 Einsatz von Radiosonden zur Erkundung der höheren Atmosphäre, Beginn des Zeitalters der Höhenmeteorologie
- 16 1950 erster Wetterbericht (WMO)
- 17 1977 Start des ersten europäischen Wetterbeobachtungsnetzes
- 18 1981 Gabriel Daniel Fahrenheit (1686–1736), deutscher Physiker und Instrumentenbauer, führt die nach ihm benannte Temperaturskala ein
- 19 1984 Vilhelm Bjerknes (1862–1951) legt die Fundamente der modernen dynamischen Massenungen
- 20 1994 erste benannte Wettervorhersage

# Wetter und Klima Wo liegt da der Unterschied?

Auch wenn uns sonst die Gesprächsthemen ausgehen – zum Wetter hat jeder was zu sagen: Regen oder Sonnenschirm? Fahrradtour oder Fernsehen? Wetterfähige Menschen leiden bei Schwüle unter Kopfschmerzen, die Landwirte richten die Ernte nach der Vorhersage aus, Bauherren den Zeitpunkt des Hausbaus.

Oft werden Wetter und Klima verwechselt. Dabei gibt es einfache Unterscheidungsmerkmale: Wird es morgen regnen, stürmen oder schneien? Diese Fragen nach kurzfristigen, regionalen Ereignissen beantwortet das Wetter, das wir täglich beobachten können. Hier betrachten wir Stunden bis Tage; beim Klima dagegen viele Jahre, mindestens 30 Jahre. Das Klima ist also eine Art langfristiges Durchschnittswetter für eine Region - eine Größe, die sich nur statistisch ermitteln lässt.

Der Begriff „Klima“ leitet sich ab von κλινο [klimo], dem griechischen Wort für „ich neige“ - die Neigung der Erdoachse gegen die Ebene ihrer Umlaufbahn um die Sonne. Der Erdkreis steht gewissermaßen schief auf seiner Bahn: So treffen die Sonnenstrahlen abwechselnd mehr oder weniger intensiv auf Nord- und Südhalbkugel und schaffen die Jahreszeiten.

Das Wetter messen wir anhand so genannter Wetterelemente wie Temperatur, Niederschlag, Wind, Luftdruck. Sie sind gleichzeitig Elemente des Klimas. Zusätzlich wird das Klima durch natürliche und anthropogene Klimafaktoren beeinflusst. Zu den natürlichen Klimafaktoren zählen z.B. die geographische Breite und die topographische Höhe. Zu den anthropogenen – vom Menschen beeinflussten – Klimafaktoren gehören zum Beispiel Flächennutzung, Siedlungsdichte und Luftverschmutzung. Da das Wetter nicht an den jeweiligen Staatsgrenzen endet, gibt es heute in fast allen Ländern miteinander kooperierende nationale Wetterdienste. Sie veröffentlichen Wetterdaten, geben Unwetter- und Katastrophenmeldungen heraus, verarbeiten Messdaten von Satelliten und weltweiten Wetterstationen zu Wetterberichten und -karten.

## Übersicht der Klimaelemente und Klimafaktoren

Klimaelemente	Maßeinheiten	Messgeräte	Klimafaktoren
Temperatur	+ C + F K	Grad Celsius Grad Fahrenheit Kelvin	Sonneneinstrahlung Windstärke Menschen Beleuchtung Luftverschmutzung
Luftdruck	hPa	Barometer	
Luftfeuchtigkeit	%	Hygrometer	
Windstärke	m/s km/h Bf	Anemometer	
Wolkenart	-	Wolkenzähler	
Sonneneinstrahlung	W/m²	Pyranometer	
Niederschlag	mm, Liter/m²	Niederschlagsmesser	
Verdunstung	mm, Liter/m²	Verdunstungsmesser	

$$F = 9/5 \cdot C + 32 \quad C = 5/9 \cdot (F - 32)$$

$$K = C + 273,15 \quad (0^\circ C = 273,15 K)$$

### Wetter Klima \*

- ist von Ort zu Ort verschieden
- ändert sich oft im Lauf eines Tages
- wird beobachtet oder gemessen
- = physikalischer Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Das Wetter spielt sich hauptsächlich in der Troposphäre ab
- ist für ganze Gebiete / Zonen ähnlich
- ändert sich selbst über lange Zeiträume nur wenig
- wird langfristig berechnet
- = Statistik des Wetters über einen langen Zeitraum von 30 Jahren (= Normalperiode)

\* Das Klima charakterisiert den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche.  
Wetterlexikon des DWD:  
[www.dwd.de/lexikon](http://www.dwd.de/lexikon)

# (Groß-)Wetterlagen und Witterung

Bleibt das Wetter über mehrere Tage oder Wochen gleich, spricht man von Witterung. Ihre Dauer wird weitgehend durch die Großwetterlage bestimmt. In Europa wird diese nach der Luftdruckverteilung am Boden und in der Höhe und der daraus resultierenden Hauptwindrichtung eingeteilt. Zusätzlich wird berücksichtigt, ob steuernde Hoch- oder Tiefdruckgebiete das Wettergeschehen beeinflussen. Die klassische Einteilung haben Hess und Brezowski schon 1881 entwickelt. Danach werden 30 Wetterlagen unterschieden und jedem Tag wird eine Großwetterlage zugeteilt, die durch eine Nummer und Abkürzung zu kennzeichnen ist, z. B.:

9.: Hoch Mitteleuropa HM  
11.: Tief Mitteleuropa TM

Wetterlage	Charakteristik	Typische Wettererscheinungen
	Zentrales blockierendes Hoch über Mitteleuropa, schwache Luftdruckgegensätze	Ruhiges Hochdruckwetter, niederschlagsarm, extreme Temperaturen, Sommer – warm, Winter – kalt, Übergangszeit – Nachtfrost
	Tief über Mittel- und Westeuropa, Wetterfronten nehmen „Umweg“ über das Mittelmeer	Lang anhaltende und ergiebige Niederschläge über dem östlichen Mitteleuropa (im Sommer, Hochwasserlagen, im Winter: große Neuschneemengen)

## Die Windtabelle = Beaufortskala:

Grad	km/h	Bezeichnung	Auswirkungen
Windstärke 0	<1	still	Rauch steigt senkrecht empor.
Windstärke 1	1–5	leichter Luftzug	Aufsteigender Rauch wird durch den Wind leicht abgelenkt.
Windstärke 2	6–11	leichte Brise	Der Wind ist leicht im Gesicht zu spüren.
Windstärke 3	12–18	schwache Brise	Die Blätter am Baum bewegen sich.
Windstärke 4	20–29	mäßige Brise	Blätter und Zweige sind dauernd bewegt.
Windstärke 5	30–38	frische Brise	Kleinere Bäume schwanken, und große Zweige schwingen.
Windstärke 6	39–51	starker Wind	Größere Äste bewegen sich und knarren im Wind. Die Blätter spielen im Wind verrückt.
Windstärke 7	51–61	steifer Wind	Alle Bäume sind in Bewegung, und es pfeift durch die Kronen.
Windstärke 8	62–74	stürmischer Wind	Zweige brechen ab, und der Wind behindert Fußgänger.
Windstärke 9	75–85	Sturm	Dachziegel können vom Dach fallen. Das aufrechte Gehen fällt schwer.
Windstärke 10	87–101	schwerer Sturm	Einzelne Bäume können entwurzelt werden, größere Äste können herunterfallen.
Windstärke 11	102–120	orkanartiger Sturm	Größere Bäume werden entwurzelt, Dächer abgedeckt, Häuser erheblich beschädigt.
Windstärke 12	> 120	Orkan	Schwerste Verwüstungen an Häusern und Wäldern. Das Gehen ohne Hilfsmittel ist kaum noch möglich.

## Selbst gemacht: Die Wetterwarte!

Mit ein paar einfachen Instrumenten und etwas meteorologischem Wissen kann sich jeder ein Bild vom heimischen Wetter und Klima machen.



### 1 DIE INSTRUMENTE:

- ein Thermometer,
- ein Windmesser wie Fahnen, Wimpel oder ein Anemometer,
- ein Barometer,
- ein Regenschirm (z. B. Messzylinder mit der Einteilung  $\text{cm}^3 = \text{ml}$  sollte in jeder Küche vorhanden sein).

### 2 TEMPERATUR UND FEUCHTIGKEITSMESSUNG:

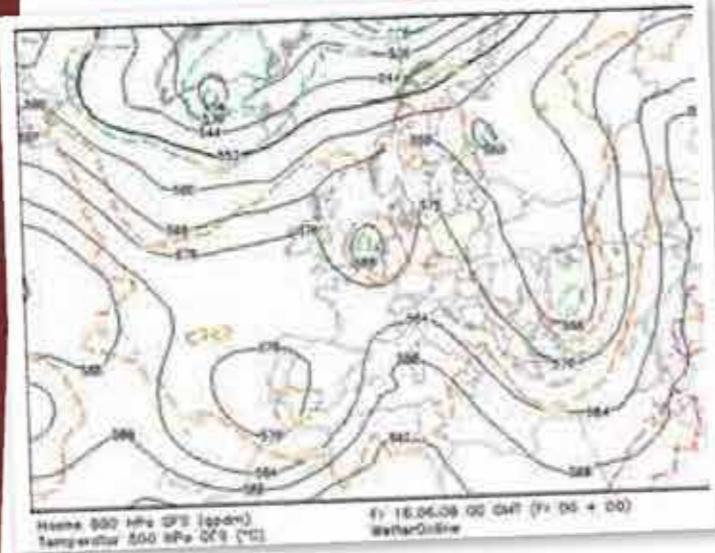
Schon frei verkäufliche Funkwetterstationen liefern recht genaue Werte ( $\pm 1^\circ\text{C}$  für Temperatur und  $\pm 5\%$  für relative Feuchte) – wenn an einem abgeschatteten und gut belüfteten Ort gemessen wird. Ist es zu sonnig, erwärmt die Sonne das Thermometer mehr als die Luft – der Wert ist zu hoch. Fehlt die Lüftung, kühlt der Sensor in der Nacht stärker ab als die Luft. Am besten geeignet sind weiß gestrichene Thermometerhütten an der Gebäudenordseite, die eine Luftzirkulation zulassen. Die Druckmessung mittels Barometer ist relativ unempfindlich gegenüber dem Standort.

### 3 WIND- UND NIEDERSCHLAGSMESSUNG:

Hier ist die Westseite des Gebäudes günstig, da bei uns meist Westwind weht – Fahne oder Wimpel werden ihm genau entgegengesetzt ausgerichtet. Die Windstärke kann auch über die Beaufort-Skala abgeschätzt werden. Zur Niederschlagsmessung eignen sich alle Gefäße mit einer Auffangfläche von mehr als  $100\text{ cm}^2$ . Die Niederschlagshöhe (in mm) ergibt sich, indem das Volumen des aufgefangenen Niederschlags (in  $\text{cm}^3$ ) durch die Auffangfläche (in  $\text{cm}^2$ ) geteilt wird.

Infos zur Wolkenbeobachtung und -klassifikation, die die Messungen vervollständigen, gibt es im Netz: z. B. unter <http://wetter.ogr.de/>; [www.wolkenatlas.de/](http://www.wolkenatlas.de/); oder [www.seewetter-kiel.de/](http://www.seewetter-kiel.de/)

## „Und nun zum Wetter“ – Vorhersage und Beobachtung



Wetterlage am 15. Juni 2006: Hagelunwetter in Westsachsen, Bodennähe: feuchtwarmer Luft mit 26 bis  $32^\circ\text{C}$ , 500 hPa-Niveau in 5.700m Höhe mit Temperaturen von  $-15^\circ\text{C}$ . Deutlich zu erkennen ist der kleinräumige Wirbel ORTRUN, das Tiefdrucksystem über der Nordsee, das für die heftigen Wettererscheinungen in Sachsen wie Hagel in Leipzig und Starkniederschlag in Marienberg (Erzgebirge) verantwortlich war.

hPa = Hektopascal / gpdm = geopotentielle Dekameter  
GFS (Global Forecast System) = Modell des Amerikanischen Wetterdienstes

# PHÄNOLOGIE

## Die Jahreszeiten der Pflanzen

In unserer Vorstellung verbinden wir die vier Jahreszeiten mit bestimmten Bildern: Der Frühling bringt saftiges Grün, der Sommer bunte Blütenfülle, der Herbst lässt Früchte reifen, im Winter sind die Äste kahl und nur die Tannen grün. Doch die Natur hält sich nicht immer an diesen Kalender. Oft weht zum kalendarischen Frühlingsbeginn noch ein rauher Wind, manchmal fällt sogar Schnee. Eine bessere Orientierung bietet hier der phänologische Kalender, dem langjährige Beobachtungen wiederkehrender Ereignisse in der Natur zugrunde liegen.

Phänologische Beobachtungen haben gerade in der Landwirtschaft und im Gartenbau eine außerordentlich lange Tradition. Die ältesten phänologischen Aufzeichnungen der Kirschblüte stammen aus Japan und sind auf das Jahr 705 datiert. Aus den langjährigen Naturbeobachtungen und Überlieferungen entwickelte sich im 18. Jahrhundert die Phänologie. Das Wort Phänologie stammt aus dem Griechischen und bedeutet wörtlich: „Die Lehre von den Erscheinungen.“ Dabei verknüpft die Phänologie die Land- und Forstwirtschaft sowie die Meteorologie und die Ökologie. Mit Erscheinungen ist nichts anderes gemeint als die im Jahresverlauf wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungsperioden der Pflanzen, so genannte phänologische Phasen:

### DIE PHASEN DER PHÄNOLOGIE:

- Beginn der Blattentfaltung,
- Beginn der Blüte,
- Vollblüte,
- Ende der Blüte,
- erste reife Früchte/Pflückreife,
- Beginn der Blattverfärbung,
- Beginn des Blattfalls

Die ersten deutschen phänologischen Spezialnetze entstanden 1936 beim Reichsamt für Wetterdienst – die Phänologie wurde hiermit zu einer Basis für die Klimatologie und Agrarmeteorologie. Vor allem Fritz Schnelle und Franz Seyfert haben sich um diese Wissenschaft in Deutschland verdient gemacht. Fritz Schnelle gründete zum Beispiel die „Internationalen Phänologischen Gärten Europas“ (IGP), die neben dem „Global Phenological Monitoring Programme“ (GPM) zu den internationalen phänologischen Beobachtungsnetzen zählen. Auch im Forstbotanischen Garten Tharandt wurde 1960 eine Beobachtungsfläche für einen Internationalen Phänologischen Garten eingerichtet, der von der Professur für Meteorologie der Technischen Universität Dresden betreut wird. Die phänologischen Beobachtungen werden nicht nur vom Deutschen Wetterdienst, Universitäts-Instituten, Forschungseinrichtungen, Behörden und Ministerien genutzt, sondern auch von den Medien, der Medizin und vor allem von Wirtschaft und Landwirtschaft.

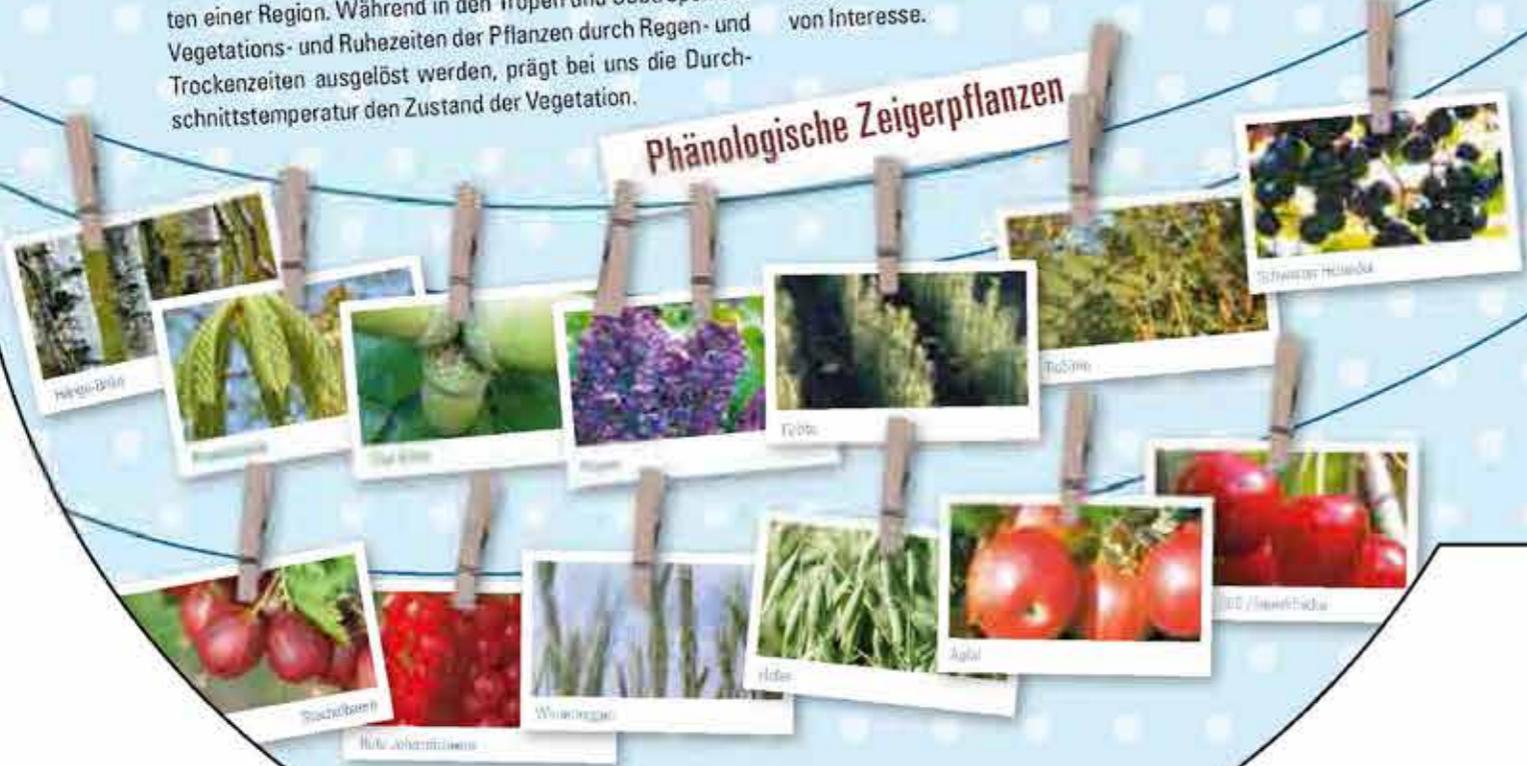
# Die natürliche Jahreszeitenuhr

## So funktioniert die Phänologie

Während sich der von uns genutzte klassische Zwölf-Monats-Kalender nur sehr selten verändert, kann sich der phänologische Kalender Jahr für Jahr verschieben. Denn die Entwicklung der Pflanzen ist abhängig von Witterung und Klima. Nach einem kalten Winter treiben die Laubbäume später aus als in milden Jahren. Ein verregneter Sommer hat Auswirkungen auf die Getreideernte. Deshalb haben die Experten die Vegetation ständig im Blick. Genau 147 Entwicklungsphasen verschiedener Pflanzen können sie übers Jahr beobachten. Mit ihrer Hilfe definieren sie die Vegetationszeiten einer Region. Während in den Tropen und Subtropen die Vegetations- und Ruhezeiten der Pflanzen durch Regen- und Trockenzeiten ausgelöst werden, prägt bei uns die Durchschnittstemperatur den Zustand der Vegetation.

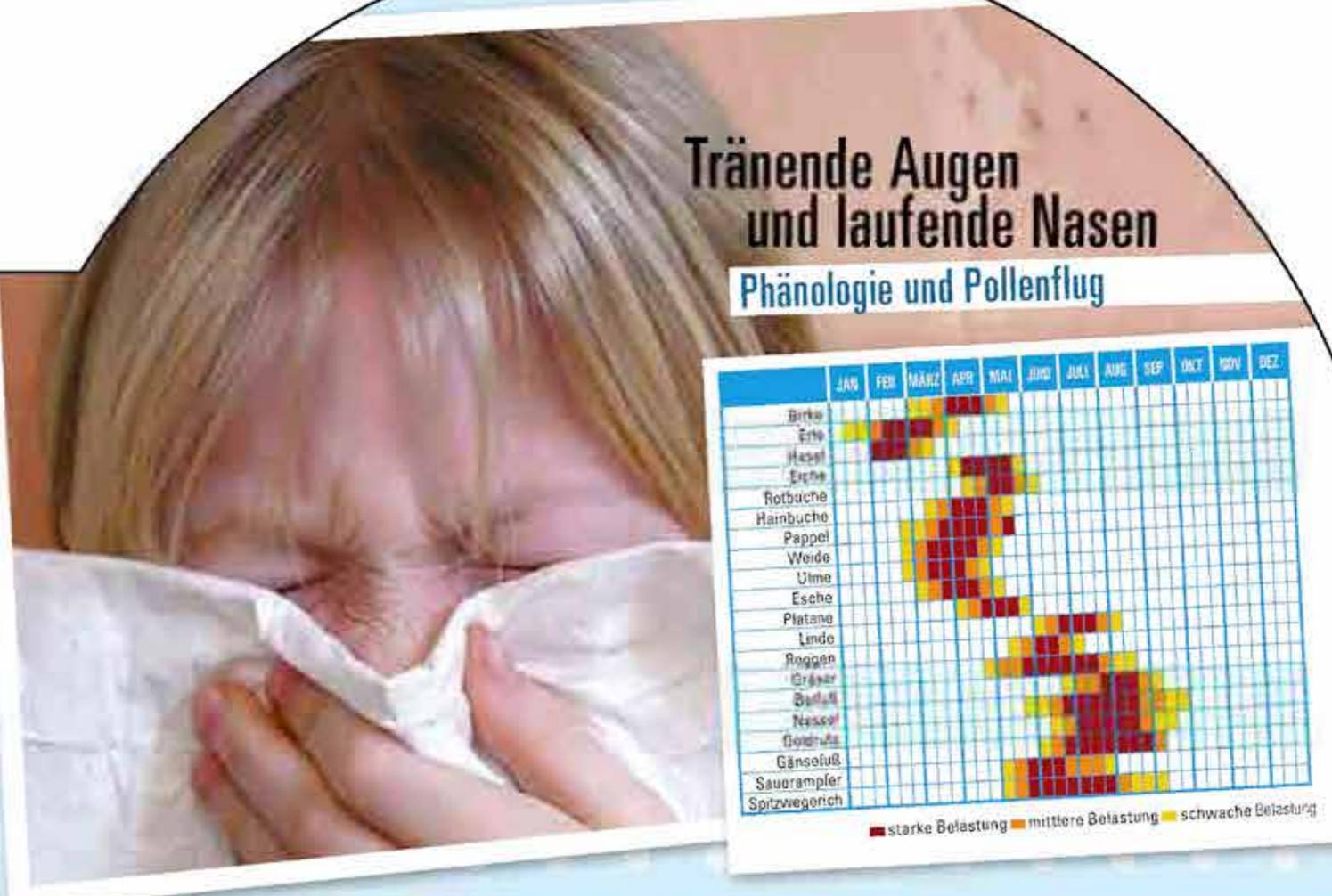
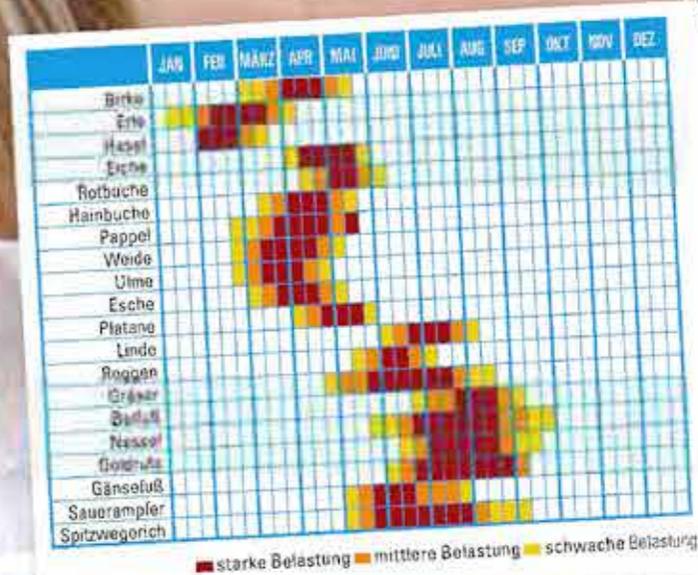
Der phänologische Kalender (siehe Seite 13) unterteilt das Jahr in zehn physiologisch-biologisch begründete Jahreszeiten. Jede Jahreszeit beginnt mit einer phänologischen Leit-Phase, angezeigt durch phänologische Zeigerpflanzen. Die gesamten Abläufe in der Landwirtschaft, von der Aussaat bis zur Ernte, sind an der Entwicklung dieser Pflanzen ausgerichtet. Phänologische Beobachtungen helfen, den optimalen Zeitpunkt für agrartechnische Maßnahmen wie Düngung, Bewässerung und Pflanzenschutz zu bestimmen. Um Ernteverlusten durch Spätfrostgefahr vorzubeugen, sind im Obstbau vor allem die Blühzeiten der Gehölze von Interesse.

### Phänologische Zeigerpflanzen



# Tränende Augen und laufende Nasen

## Phänologie und Pollenflug

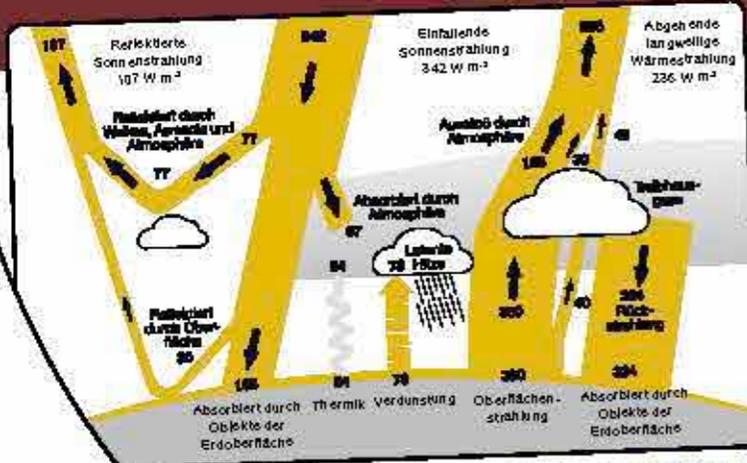
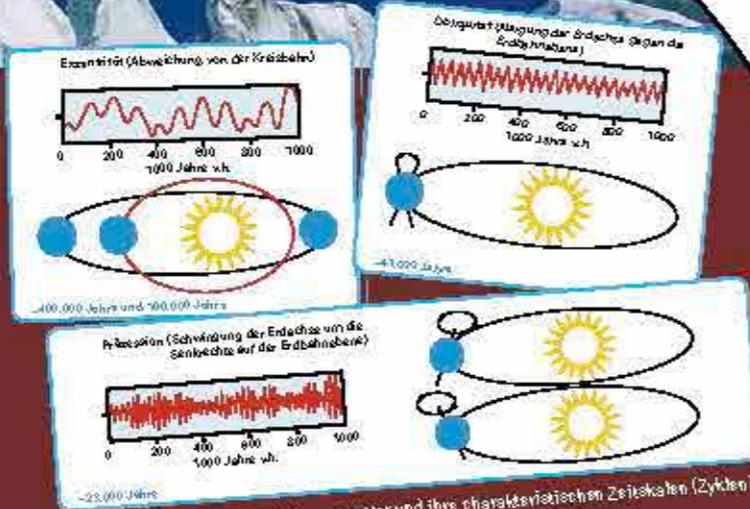


Für rund sieben Millionen Deutsche beginnt jedes Jahr das gleiche Spiel: Die Nase läuft, die Augen tränen – es ist wieder Heuschnupfenzeit! Grund des Übels sind allergene Pollenarten wie Hasel, Erle, Birke, Gräser oder Roggen. Eine effektive Vorsorge bietet seit Jahrzehnten die Pollenflugvorhersage. Auch sie basiert auf der Phänologie und meteorologischen Auswertungen: Beobachter melden den ersten Blühtermin einer Pflanze, zum Beispiel der Birke. Meteorologen verfolgen dann den Blühfortschritt in Deutschland. Meist beginnt der Pollenflug im Südwesten und breitet sich nach Nordosten aus; die Pflanzen blühen zuerst im Flachland, bevor die Pollen im Mittelgebirge entstehen. Berücksichtigen die Meteorologen dann noch die Temperatur, Regendauer und -menge sowie die täglichen Sonnenstunden, die Windrichtung und -geschwindigkeit, lässt sich der Pollenflug für 24 bis 72 Stunden recht genau vorhersagen. Und die vielen Heuschnupfenopfer sind zwar nicht geheilt, aber zumindest gewarnt!



# Der Lauf der Zeit – die natürlichen Ursachen

Für Klimaänderungen sind vor allem die externen Einflussfaktoren Sonnenaktivität und der anthropogene Treibhauseffekt entscheidend. Bei Zeiträumen von einigen zeh- und hunderttausend Jahren kommen noch die Variationen der Erdbahnbahn um die Sonne (Milankovich-Zyklen) und die Verschiebung der Kontinente (Jahrmillionen) hinzu. Die Veränderung der Erdbahnparameter, die die Einstrahlungen und Strahlungsverteilungen auf der Erde um 5–10 % abweichen lassen, stellt z.B. die Hauptursache für den Wechsel von Kalt- und Warmzeiten dar.



## DIE KRAFT DER SONNE

Jeder warme Körper strahlt! So schießt die Sonne seit Milliarden von Jahren von ihrer durchschnittlich  $6.000 \text{ }^\circ\text{C}$  heißen Oberfläche einen gewaltigen Strom von Energie ins All. Sie ist die wichtigste Energiequelle für das Leben auf der Erde und das Wettergeschehen in der Atmosphäre. Nur ein winziger Bruchteil der gesamten von der Sonne abgestrahlten Energiemenge (etwa ein Fünfzigtausendstel) erreicht die äußersten Schichten der rund 150 Millionen Kilometer von ihr entfernten Erde. Doch was passiert mit den Sonnenstrahlen, wenn sie auf der Erde ankommen? Etwa  $1367 \text{ W/m}^2$  kurzwellige Sonnenstrahlung erreichen im Mittel die Obergrenze der Atmosphäre. Dieser Wert wird als **SOLARKONSTANTE** bezeichnet. Ihr tatsächlicher Wert variiert jedoch um 3 bis 4 % zwischen  $1.325$  bis  $1.420 \text{ W/m}^2$ .

Die zur Erde kommende Sonnenstrahlung wird zu 51 % von der Erdoberfläche und zu 19 % von der Atmosphäre absorbiert. 30 % gehen durch Reflexion an den Wolken, feinsten Staubteilchen und Gasen sowie der Erdoberfläche – besonders Schneeflächen – zurück in den Weltraum. Das ist die planetare Albedo, das Reflexionsvermögen des Planeten Erde.

Strahlungsbilanz für Erdoberfläche, Atmosphäre und Gesamtsystem Erde - Atmosphäre	Erdoberfläche	Atmosphäre	Gesamtsystem
Energiegewinn	$Q_k = 51 \%$	durch Absorption kurzwelliger Sonnenstrahlung: 19 %	100 % Sonneneinstrahlung
Energieverlust	$AE = AO - AG = 98 \%$ $\% - 77 \% = 21 \%$	durch Ausstrahlung langwelliger Wärmestrahlung: 49 %	30 % (Albedo) + 21 % effektive Ausstrahlung der Erdoberfläche + 49 % (Ausstrahlung der Atmosphäre) = 100 %
Bilanz	$Q = 51 \%$ $- 21 \%$ $= 30 \%$	$Q = 19 \%$ $- 49 \%$ $= -30 \%$	$Q = 0$

Die gesamte Strahlungsbilanz  $Q$  (Nettostrahlung) resultiert aus der Differenz zwischen absorbierter Globalstrahlung (Sonneneinstrahlung) und effektiver Ausstrahlung (AE). Die Menge der absorbierten Globalstrahlung ergibt sich dabei aus der Differenz von einfallender Sonnenstrahlung ( $Q_k$ ) und der durch die Erdoberfläche reflektierten Strahlung ( $a \cdot Q_k$ ). Die effektive Ausstrahlung resultiert aus der Differenz zwischen Ausstrahlung der Erdoberfläche (AO) und Gegenstrahlung (AG). Ohne die Gegenstrahlung der Atmosphäre (= natürlicher Treibhauseffekt) läge die mittlere Lufttemperatur der Erde bei  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ , während sie tatsächlich  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$  beträgt.



### SCHON GEWUSST?

**Globalstrahlung:** Die Globalstrahlung ist die Summe der an einem Ort einfallenden Solarstrahlung. Sie setzt sich zusammen aus der Direktstrahlung und der Strahlung, die über Streuung an Luftmolekülen, Wolkenwasser- und Staubteilchen die Erdoberfläche erreicht (= Diffusstrahlung). Gemessen wird sie in Watt pro Quadratmeter ( $\text{W/m}^2$ ). Die Globalstrahlung erreicht bei wolkenlosem Himmel im Sommer in Mitteleuropa etwa  $1000 \text{ W/m}^2$ . Bei trübem Wetter besteht sie aus dem Diffusstrahlungsanteil, und ihr Wert sinkt auf unter  $100 \text{ W/m}^2$ . In Deutschland liegt die gesamte eingestrahlte Sonnenenergie pro Jahr im Mittel zwischen  $900$  und  $1200 \text{ kWh/m}^2$ , das entspricht einer konstanten Energieleistung von rund  $100$  bis  $135 \text{ W/m}^2$ , in der Sahara liegt sie bei  $2500 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$  ( $285 \text{ W/m}^2$ ).

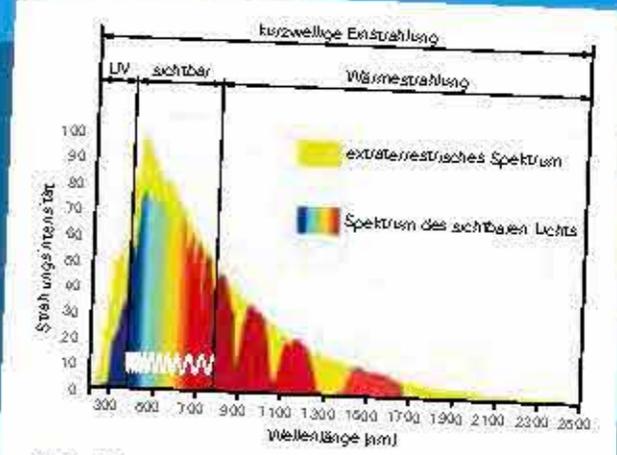
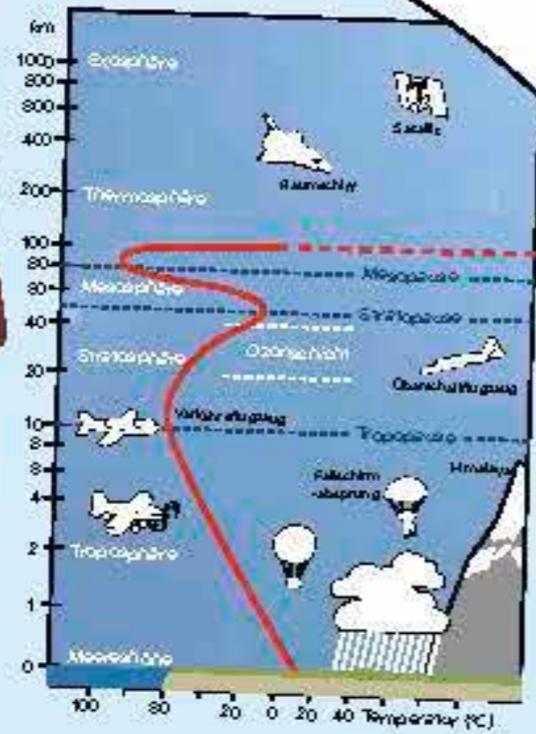
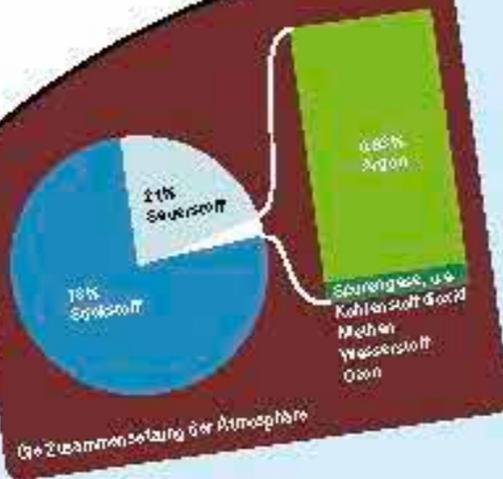


Abb. Das Diagramm beschreibt die Höhe der Energie der einzelnen Wellenlängen (außerhalb der Atmosphäre und am Erdboden), welche uns die Sonne zusendet. Der Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtspektrums reicht dabei von ungefähr  $380$  bis  $750 \text{ nm}$ , einem Frequenzbereich von ca.  $7,5 \times 10^{14}$  bis  $4,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$  entsprechend.

# SCHUTZSCHILD ATMOSPHERE



Wie die meisten Planeten unseres Sonnensystems wird die Erde von einer Atmosphäre (griechisch *atmós* = Dunst und *sphaira* = Kugel) als äußerste Schicht umschlossen. Wäre die Erde so groß wie ein Luftballon, wäre die Atmosphäre so dick wie dessen Gummihaut. Die Gasfülle der Erde gliedert sich vertikal in einzelne „Stockwerke“, die Sphären: Troposphäre (0-18 km Höhe), Stratosphäre (15-50 km Höhe), Mesosphäre, Thermosphäre und Exosphäre (von unten nach oben). Diese sind durch dünnere Grenzschichten, die Pausen, voneinander getrennt.

Klimatisch bedeutsam sind für uns die Tropo- und Stratosphäre, da sich hier 99% der Masse der Luft befinden. In der Troposphäre spielt sich das gesamte Wettergeschehen ab. Vom Erdboden bis zur Tropopause nimmt die Temperatur von etwa +15 °C auf -50 °C ab. In der darüber liegenden Stratosphäre steigt die Temperatur an und liegt in 50 km Höhe bei ca. 0 °C. Ursache der Erwärmung ist das in der Stratosphäre konzentrierte Ozon (Ozonschicht), was einen Teil der Sonnenstrahlung absorbiert.

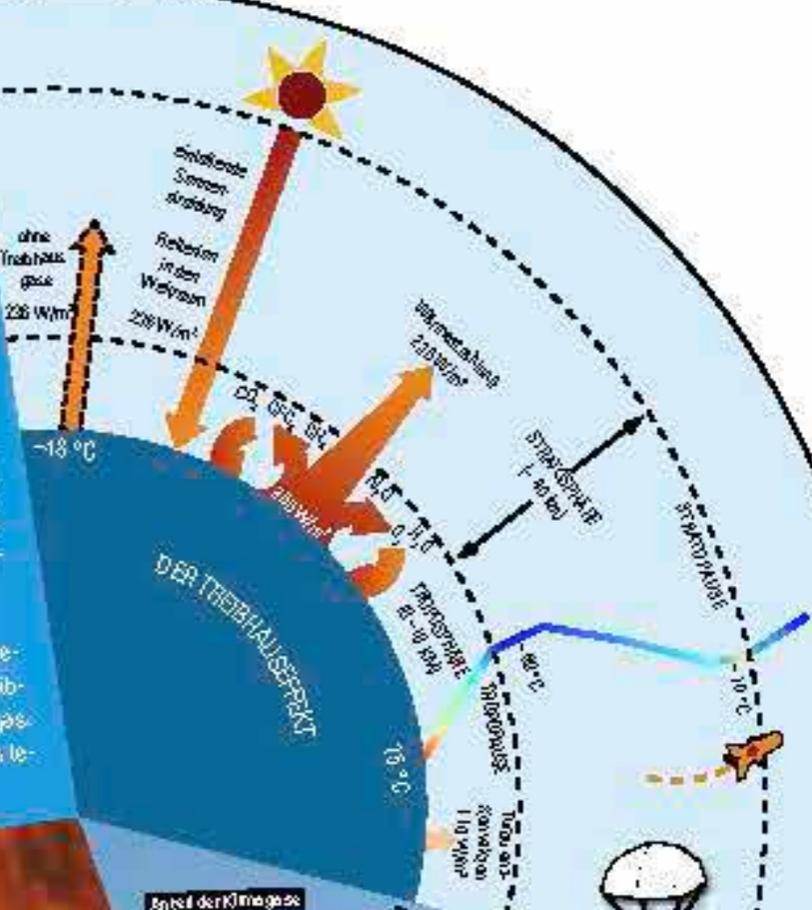
Die besondere chemische Zusammensetzung der Atmosphäre ist die Grundlage allen Lebens. Die Luft, die wir atmen, setzt sich hauptsächlich aus Stickstoff (78,1%), Sauerstoff (20,9%) und Argon (0,93%) zusammen. Dazu kommt Wasserdampf mit veränderlichen Konzentrationen von ca. 1%. Nur die sogenannten Spurengase wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffdioxid (N<sub>2</sub>O) und Ozon (O<sub>3</sub>) sind klimawirksam. Obwohl ihr Gesamtanteil unter 1% liegt, tragen sie über den natürlichen Treibhauseffekt entscheidend zur Erwärmung der Atmosphäre bei und halten so die +15 °C Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche aufrecht.

Zu den klimawirksamen Bestandteilen der Atmosphäre gehören auch die Aerosole, kleine, in der Luft schwebende Partikel aus verschiedensten Ausgangsprozessen (Vulkanausbrüchen, Verbrennungen, Staub). Sie wirken im Wesentlichen abkühlend, da sie Sonnenstrahlen reflektieren und absorbieren.

# TREIBHAUSGASE UND TREIBHAUSEFFEKT

Trifft die kurzwellige energiereiche Strahlung von der Sonne auf die Erdoberfläche, wird sie in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. Die Treibhausgase vermindern die Abstrahlung der langwelligeren Strahlung ins Weltall, die Erdatmosphäre erwärmt sich. Jedes Gas hat dabei unterschiedliche Strahlungseigenschaften. Verändert sich der Anteil eines Spurengases am Gesamtgemisch, so wird auch die Menge der Energie verändert, die zur Erde zurück- bzw. in den Weltraum abgestrahlt wird.

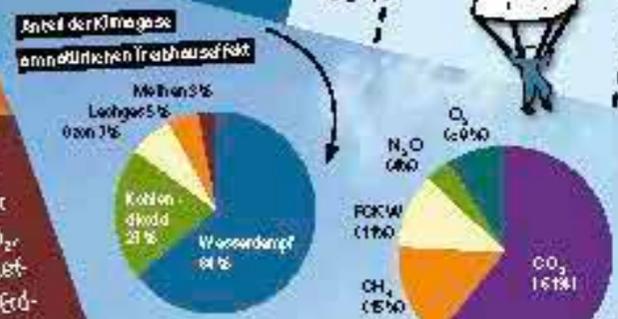
Das Zusammenspiel zwischen Einstrahlung, Absorption, Reflexion und Gegenstrahlung bezeichnet man als natürlichen Treibhauseffekt. Wasserdampf ist hier das wichtigste Treibhausgas. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt wäre die Erde kein lebensfähiger Planet, sondern eine lebensfeindliche Eiswüste.



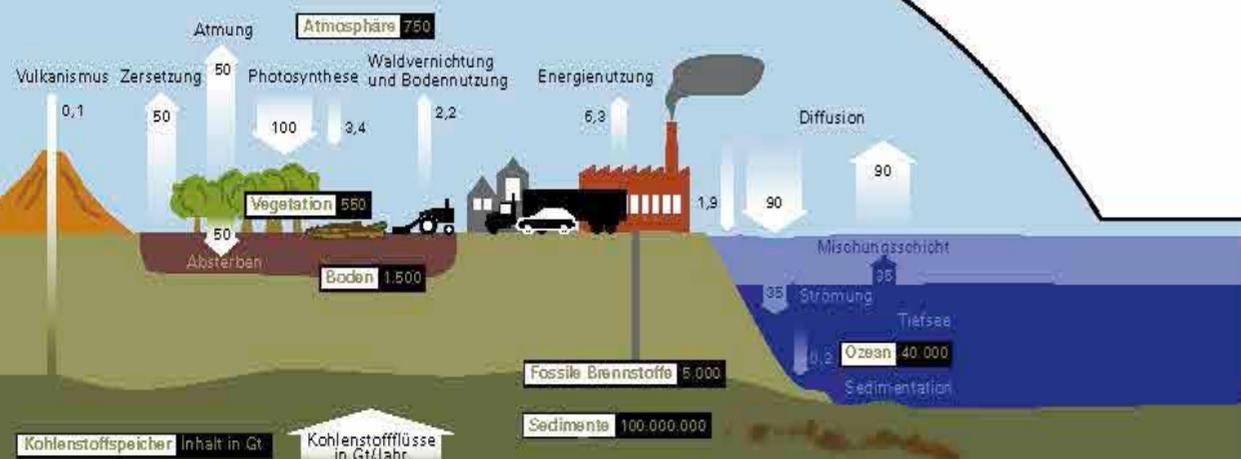
# DER ERDE WIRD'S HEISS

Während die Hauptbestandteile der Atmosphäre – Stickstoff, Sauerstoff und Edelgase – weitgehend konstant bleiben, nehmen seit der Industrialisierung ab 1850 die Konzentrationen der Spurengase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O stark zu und verstärken so den natürlichen Treibhauseffekt durch Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl, Erdgas, Rodungen von Regen-Wäldern, Landwirtschaft.

Borungen im antarktischen Eis zeigen die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre lag in den vergangenen 800.000 Jahren nie über 300 ppm (parts per million = Teilchen pro Million Teilchen). Im Jahr 2006 betrug die CO<sub>2</sub>-Konzentration 380 ppm und steigt seitdem weiter um 2 ppm pro Jahr.



### Der globale Kohlenstoffkreislauf



## KOHLENSTOFF: Baustein des Lebens

Kohlenstoff ist der Grundbaustein aller organischen Verbindungen. Seit Jahrmillionen wird er durch natürliche Prozesse vor allem in der Form von  $CO_2$  zwischen der Atmosphäre, der Landvegetation und der Hydrosphäre ausgetauscht. Angetrieben wird der Kohlenstoffkreislauf durch die Photosynthese von Pflanzen (Assimilation), die Atmung der Organismen (Dissimilation) und durch die Aufspaltung von Wasser (Dissoziation). Etwa ein Siebtel des gesamten  $CO_2$ -Vorrates in der Atmosphäre wird pro Jahr von der Vegetation assimiliert. Aus diesem Grund schwankt der  $CO_2$ -Gehalt in der Atmosphäre nur geringfügig. Die größten  $CO_2$ -Lagerstätten sind die Sedimente, die Ozeane und die fossilen Energieträger. Die andere Hälfte verbleibt im Kohlenstoffspeicher Atmosphäre.  $CO_2$  selbst ist ein farbloses, unbrennbares, geruchloses Gas, das neben Wasser als Endprodukt aller Verbrennungsvorgänge entsteht. Durch das Verfeuern fossiler Energieträger wird das natürliche Kohlenstoffgleichgewicht der Erde aber erheblich gestört. Obwohl es im Rahmen des Kohlenstoffkreislaufs Puffermechanismen

(Speicher) gibt, wird  $CO_2$  in der Atmosphäre angereichert. Da der Speicher der Atmosphäre klein ist, hat selbst eine geringe Freisetzung von Kohlenstoff aus anderen Quellen eine relativ große Änderung der  $CO_2$ -Konzentration zur Folge. Und: Was heute emittiert wird, verliert erst in 50 bis 200 Jahren seine Treibhauswirkung! Auf der anderen Seite fördern die höheren  $CO_2$ -Gehalte der Atmosphäre aber auch das Pflanzen- und Algenwachstum und erhöhen damit grundsätzlich die Speicherkapazität der Biosphäre. Dieser Speicher vergrößert sich aber nicht dauerhaft, da sich die neu entstehenden biologischen Systeme auf ein Gleichgewicht zubewegen, bei dem sich Kohlenstoffaufnahme (durch Photosynthese) und -verbrauch (durch Atmung) die Waage halten. Problematisch ist auch, dass einige heutige Nutzpflanzen wie z. B. Mais und Zuckerrohr evolutionär auf wenig  $CO_2$  in der Luft eingestellt sind und bei einem weiteren deutlichen  $CO_2$ -Anstieg ihre Fähigkeit zur effektiven Kohlenstoffspeicherung verlieren. Damit wird das Treibhausproblem in der Zukunft auch zu einem globalen Ernährungsproblem.

### QUELLEN ANTHROPOGENER EMISSIONEN

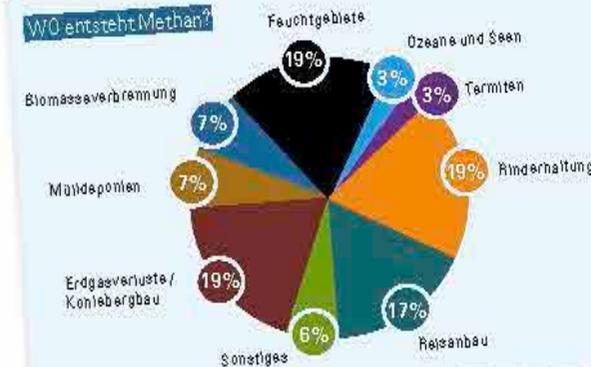
$CO_2$	75 % fossile Energie (Kohle, Öl und Gas), 20 % Waldrodungen, 5 % Holznutzung (Entwicklungsländer)
Methan $CH_4$	27 % fossile Energie, 23 % Viehhaltung, 17 % Reisanaubau, 16 % Abfälle (Müll, Abwasser), 11 % Biomasseverbrennung, 6 % Tierexkremate
Lachgas $N_2O$	23-48 % Bodenbearbeitung (einschließlich Düngung), 15-38 % chemische Industrie, 17-23 % fossile Energie, 15-19 % Biomasseverbrennung
Ozon $O_3$	indirekt über so genannte Vorläufersubstanzen wie Stickoxide ( $NO_x$ ) unter anderem aus dem Verkehrsbereich
FCKW	Treibgas in Spraydosen, Kältetechnik, Dämmstoffen und bei der Reinigung

## Das Methan-Problem

Das Treibhausgas Methan gilt heute einerseits als umweltfreundlicher fossiler Energieträger, andererseits als klimatische „Zeitbombe“ (Kippelement). Nach Kohlendioxid ist Methan das bedeutendste anthropogene Treibhausgas, was seit 1750 um mehr als 150 % angestiegen ist. Ein Methan-Molekül ist 25-mal stärker klimawirksam als ein Kohlendioxid-Molekül und bleibt für etwa 12 Jahre in der Atmosphäre. Nach neueren Untersuchungen beträgt dieser Faktor sogar 33, wenn Wechselwirkungen mit atmosphärischen Aerosolen berücksichtigt werden.

Methan kommt vielfältig vor und wird auf der Erde bei biologischen und geologischen Prozessen ständig neu gebildet. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass Pflanzen ständig Methan produzieren und so zum Methan-Gehalt der Atmosphäre beitragen. An Land entsteht Methan in großen Mengen vor allem in Feuchtgebieten (als wichtigste natürliche Quelle) sowie in Rindermägen, beim Nassreisanbau (als anthropogene Hauptquellen) und im Meer bei der Vergärung kohlenstoffhaltiger organischer Substanz durch Mikroorganismen. An Land wird Methan von Bakterien mit Sauerstoff zu Kohlendioxid umgesetzt, in Meeressedimenten verschwindet ein Großteil des Methans auch ohne Sauerstoff (anaerob). Die wichtigste Methansenke ist die chemische Reaktion mit dem Hydroxyl-Radikal OH in der Troposphäre, wobei es mehr als 8 Jahre dauert, bis die Reaktion abgelaufen ist:  $OH + CH_4 \rightarrow CH_3 + H_2O$ .

### WO entsteht Methan?



Kritisch für die zukünftige Klimaentwicklung sind die riesigen Reservoirs von Methan in den Dauerfrostböden Sibiriens und Nordamerikas. Bei Erwärmung und Auftauen verlieren die Böden ihre Senkenfunktion und werden zur Methanquelle. Die gesamte im Permafrost der Nordhalbkugel gespeicherte Menge an Methan wird auf 7,5-400 Gigatonnen Kohlenstoff (GtC) geschätzt. Eine noch wesentlich größere Methanquelle schlummert an den Kontinentalhängen der Ozeanböden in Tiefen von ca. 400-1.000 m: Methanhydrat mit einer geschätzten Menge von 500-10.000 GtC. Erhöhte Wassertemperaturen und veränderte Meeresströmungen lassen die Hydrate instabil werden und als  $CO_2$  und  $CH_4$  in die Atmosphäre aufsteigen.

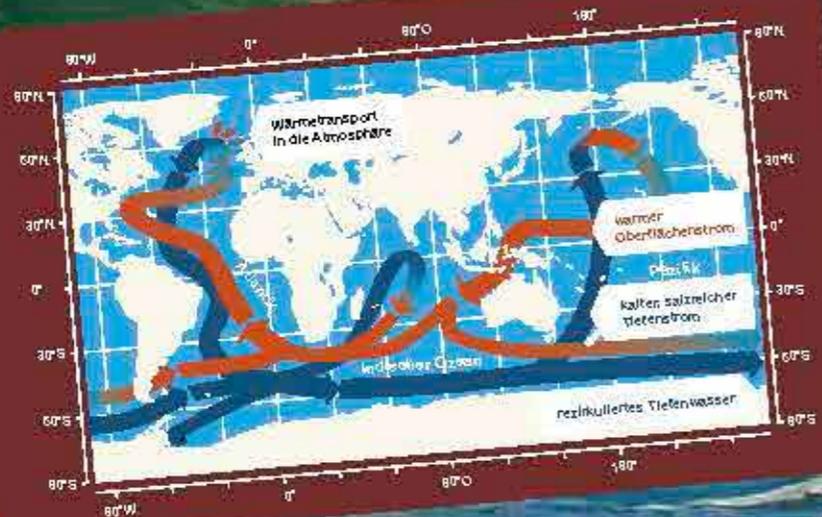
## Das Langzeitgedächtnis unseres Klimasystems: Die globale Ozeanzirkulation

Wasser hat faszinierende Eigenschaften, die unser Klima regulieren und das Leben auf der Erde ermöglichen. Die gesamte Wassermenge der Erde wird auf 1,4 Mrd. km<sup>3</sup> geschätzt. Davon stecken:

- 97 % in den Ozeanen
- 1,77 % in den großen Eisschilden der Antarktis, Grönlands und in Gletschern
- 1,7 % im Grundwasser
- 0,03 % in Seen, Flüssen, Sümpfen und in der Atmosphäre.

Das Wasser der Meere bewegt sich stetig wie ein gigantisches Fließband um den Globus herum. Diese Strömungen sind für die Stabilität des Klimas von entscheidender Bedeutung. Angetrie-

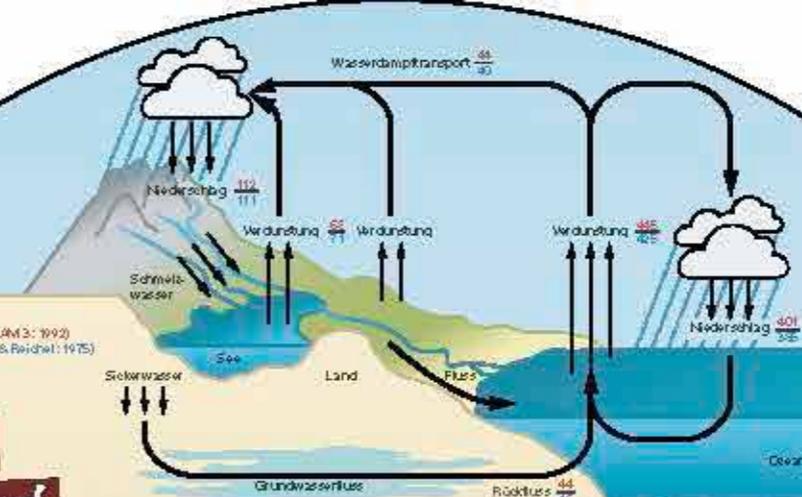
ben durch Wind sowie Temperatur- und Salzgehaltsunterschiede sorgt die globale Ozeanzirkulation für den großräumigen Wärmeaustausch, auch thermohaline Zirkulation genannt. Indem das gigantische Strömungssystem warme Wassermassen polwärts transportiert, schafft es in den mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre angenehme klimatische Lebensbedingungen. Ohne diesen Wärmetransport, z.B. durch den Golfstrom, würde in Mitteleuropa Tundrenklima herrschen. Im Vergleich zur Atmosphäre ist der Ozean ein träges System, da Wasser eine sehr hohe Wärmekapazität hat. Es ist eine große Energiemenge erforderlich, um seine Temperatur zu erhöhen. Verglichen mit Luft, benötigt man das Vierfache an Energie, um Wasser um 1 °C zu erwärmen.



## Der wichtige Wasserkreislauf

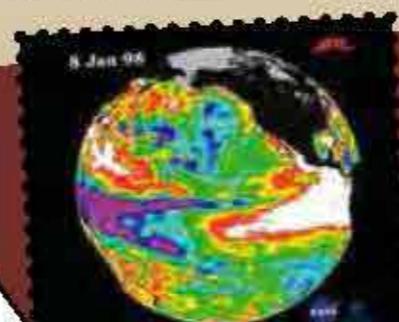
Der Ozean nimmt Energie direkt von der Sonne und aus der Atmosphäre auf und gibt Wärme an sie zurück. Außer Energie tauschen Ozean und Atmosphäre Wasser über den globalen Wasserkreislauf aus. Verdunstung entzieht dem Ozean Süßwasser, erhöht den Salzgehalt und damit die Dichte. In der Atmosphäre steigert er den Wasserdampfgehalt und die Niederschlagsneigung. Über 80 % des Wasserdampfes stammen dort aus der ozeanischen Verdunstung. Sie ist Hauptantrieb für den Wasserkreislauf, besonders für die Niederschläge.

Die globale Erwärmung wirkt sich auch auf den sensiblen Wasserkreislauf aus – mit Konsequenzen für Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft. Der Gasaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre spielt



Tarepot in 1000km<sup>3</sup> pro Jahr  
Rot = Modellberechnung (MFI, ECHAM 3; 1992)  
Blau = Beobachtung (Björn Gärner & Reichel; 1975)

beim Treibhauseffekt eine wesentliche Rolle, beeinflussen doch CO<sub>2</sub>-Aufnahme und -abgabe durch die Weltmeere den Anteil des in der Atmosphäre verbleibenden anthropogen emittierten Kohlendioxids und dessen klimatische Auswirkung. Wissenschaftler fragen sich zunehmend, ob die Ozeanzirkulation die Klimaänderungen verhindern kann; wird vom Ozean doch ein Teil des anthropogen verursachten Kohlendioxids (ca. 7 Mio. t pro Jahr) durch absinkendes kaltes Wasser aufgenommen (zurzeit ca. 2 Mrd. t pro Jahr). Wie schnell der Ozean die zusätzliche CO<sub>2</sub>-Menge binden kann, weiß noch niemand. Langfristig (in 1.000 Jahren) wird damit gerechnet, dass der Ozean etwa 85 % des zusätzlichen Kohlenstoffs aufnehmen kann.



Das El-Niño-Phänomen aus der  
Alpenspektive

### El Niño

„El Niño“ ist ein großräumiges Phänomen im äquatorialen Pazifik mit nahezu weltweiten Auswirkungen. Noch sind die Mechanismen nicht ganz geklärt. Ursache sind vermutlich das pazifische Wettergeschehen und Wechselwirkungen von Ozean und Atmosphäre: Die Meeresoberflächentemperatur erhöht sich entlang des Äquators (von der peruanischen Küste bis in den zentralen Pazifik), d.h. in jenem Gebiet, in dem sonst eine kalte Wasserzunge liegt. Zugleich ist der Südostpassat stark abgeschwächt oder wird sogar durch leichte Westwinde verdrängt. Im westlichen, normalerweise sehr niederschlagsreichen äquatorialen Pazifik ist es dann außergewöhnlich trocken, während es an dem sonst trockenen östlichen Rand des Ozeans heftig regnen kann. Die Abstände zwischen zwei „El-Niños“ sind unregelmäßig und liegen bei etwa 3–7 Jahren. Beobachtungen über die letzten 100 Jahre zeigen, dass das Phänomen vor allem in den neunziger Jahren stärker und häufiger auftrat. So wurde etwa der „Jahrhundert-El-Niño“ von 1982/83 noch von dem „El Niño“ 1997/98 übertroffen.

# Klimaänderung durch Vulkanausbrüche?

Gewaltige Vulkanneruptionen können massiv in das Weltklima eingreifen, es über Jahre beeinflussen. Der Ausbruch des Tambora (1815) in Indonesien hat dies eindrücklich bewiesen: Das Jahr 1816 ging als Jahr ohne Sommer in die Geschichte ein. Auch der ab 1991 (bis etwa 1993) vorübergehend festzustellende Temperaturrückgang um 0,5 °C auf der Nordhemisphäre wurde durch eine explosive Vulkanneruption hervorgerufen: die des Pinatubo vom 9. Juni 1991.

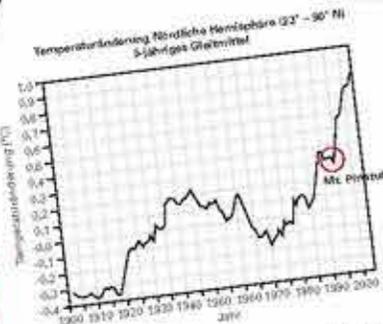
Der Grund: Durch die Eruptionen werden Gase und Partikel bis in die Stratosphäre geschleudert, wo sie einen Teil der Sonneneinstrahlung absorbieren (unter Erwärmung der Stratosphäre) bzw. reflektieren. Asche und Gase (= Aerosole) funktionieren hier wie ein Sonnenschirm. Die Sonneneinstrahlung in der unteren Atmosphäre verringert sich: es wird kühler; allerdings meist nur für wenige Jahre.

**VULKANE KÜHLEN ABER NICHT NUR AB, SIE HEIZEN AUCH EIN ...**  
 Verstärkter Vulkanismus führt als Folge der erhöhten Ausgasung von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und H<sub>2</sub>O zu außergewöhnlich warmen Zeiten.

**NACHGEFRAGT: 2010 (März-Mai) brach der Vulkan Eyjafjallajökull auf Island aus. Reichen die Mengen an klimarelevanten vulkanischen Gasen in den Eruptionswolken von bis zu 7.000 Metern Höhe aus, um das Klima größerer Gebiete längerfristig zu beeinträchtigen?**



Gasausstoß nach einem gewaltigen Vulkanausbruch mit Aerosolbildung in der Stratosphäre



Der Einfluss des ausgebrochenen Vulkans Pinatubo 1991 auf das globale Klima. Die Temperaturkurve zeigt, dass der Vulkanausbruch den allgemeinen Temperaturtrend nicht rückgängig machen konnte, aber verzögert hat.

Der Ausbruch des Pinatubo 1991: Eine 30 km hohe Eruptionswolke aus Gas, Rauch und Asche vertunkelte die Umgebung

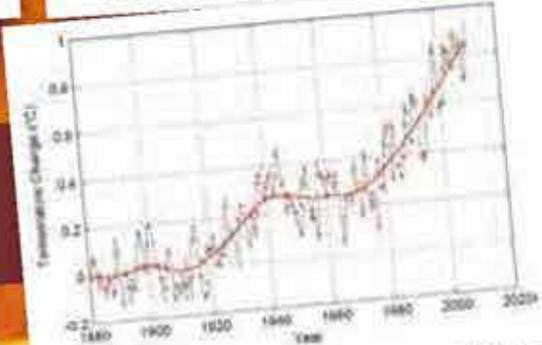
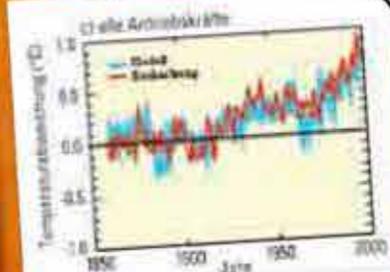
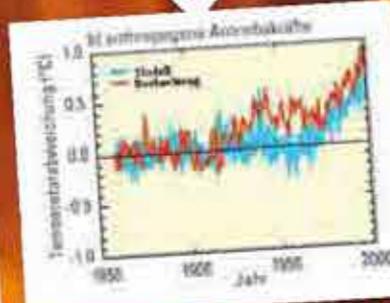
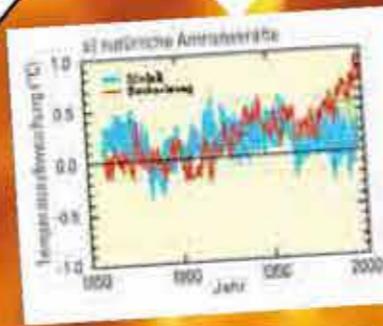
# Der Mensch heizt dem Klima ein

**DIE TATSACHEN:** Unser Klima verändert sich. Das beweisen viele Studien. Seit 1861, dem Beginn systematischer meteorologischer Aufzeichnungen, ist die globale mittlere Oberflächentemperatur um 0,8 °C angestiegen (vor allem seit den 1970er Jahren); seit 1861 war das Jahrzehnt 2000-2010 das bisher wärmste.

Wissenschaftliche Untersuchungen belegen: Für die globale Erwärmung sind vor allem die anthropogen verursachten Treibhausgase verantwortlich. Natürliche Ursachen wie Änderungen in der Intensität der Sonnenstrahlung oder Vulkanausbrüche hatten während des 20. Jahrhunderts, insbesondere in den letzten 30 Jahren, nur einen geringen Einfluss auf die Entwicklung der Temperaturen. Die reichen Industrieländer sind die Hauptverantwortlichen für den Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre – auch historisch: In den letzten 150 Jahren haben sie ca. 80 % des CO<sub>2</sub> ausgestoßen, obwohl hier nur ein Viertel der Weltbevölkerung lebt. Die Entwicklungsländer hingegen sind Spitzenreiter bei den Emissionen, die durch Reisanbau, Verbrennung von Biomasse, Nutztierhaltung und Waldzerstörung verursacht sind – auch gefördert durch den Energiehunger der Industriestaaten.

Noch immer basiert die Weltenergieversorgung vor allem auf fossilen Energieträgern. Wirtschaften und denken wir weiter wie bisher – was auch die schnell wachsenden Emissionen der Schwellen- und Entwicklungsländer einschließt – könnte sich das Erdklima bis 2100 um 5 °C erwärmen: ein Temperaturunterschied zwischen einer Kaltzeit und einer Warmzeit. Aus der heutigen Warmzeit steuerten wir also auf eine „Heißzeit“ zu.

Darstellung der jährlichen globalen Mitteltemperatur unter Berücksichtigung natürlicher, anthropogener und aller Antriebskräfte. Modellsimulationen sind blau, Beobachtungen rot.



Entwicklung der globalen Durchschnittstemperatur seit 1860 als Abweichung vom Mittelwert 1890-1920 in den NASA-Daten.

**!!!** Derzeit gäbe es keinen Grund für einen Klimawandel. Sonnenaktivität, kosmische Strahlung oder Vulkanaktivität weisen in den letzten Jahrzehnten keinen signifikanten Trend auf. Auch die Milankovitch-Zyklen oder die Kontinentaldrift spielen in absehbarer Zeit keine Rolle für die globale Klimaentwicklung.

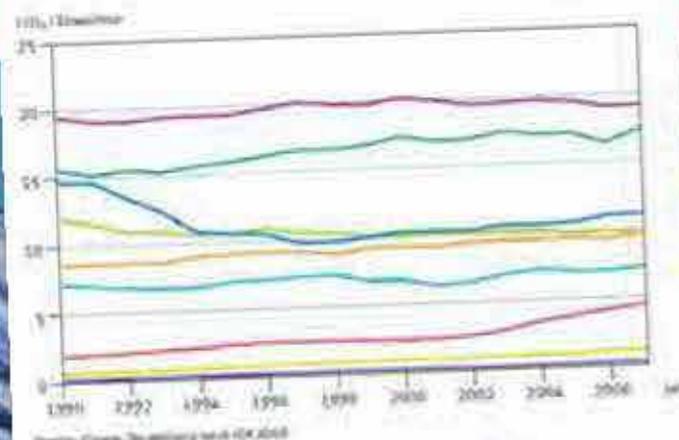
## Aufstrebende Schwellenländer

Ist die bisherige Erderwärmung zu einem Großteil auf die Produktion der Industrieländer zurückzuführen, so tragen in den vergangenen Jahren vor allem Schwellen- und Entwicklungsländer mit schnell wachsenden Treibhausgasemissionen durch gesellschaftliche Modernisierungsprozesse und fortschreitende Industrialisierung zur Erderwärmung bei. Noch bis 2007 produzierten die USA mit Abstand weltweit die meisten Treibhausgase, sowohl absolut als auch pro Kopf.

Inzwischen ist ein neuer Emissions-Riese herangewachsen: China. Die Industrialisierung hält ungebremst Einzug im Reich der Mitte. Derzeit (2010) geht etwa jede Woche ein neues Kohlekraftwerk mit einer Kapazität von 500 bis 1.000 MW Leistung und einer technischen Laufzeit von 40 bis 60 Jah-

ren ans Netz. Der energiebedingte CO<sub>2</sub>-Ausstoß in China mit 7,43 Mrd. t war bereits 2009 so hoch wie der in den USA (5,95 Mrd. t) und Russland (1,53 Mrd. t) zusammen genommen.

China und Indien sind zwar die Länder mit dem höchsten bzw. dritthöchsten Emissionsausstoß. Pro Kopf sieht das aber anders aus. Bei 1,3 Mrd. Einwohnern produzierte China 2007 pro Kopf 4,6 t CO<sub>2</sub>, Indien bei 1,1 Mrd. Einwohnern 1,2 t pro Kopf und Jahr. In Deutschland werden derzeit pro Jahr und Einwohner ca. 10 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert, was deutlich über dem Durchschnitt der erweiterten EU liegt. Afrika ist der Kontinent mit den geringsten durchschnittlichen Pro-Kopf-Emissionen.



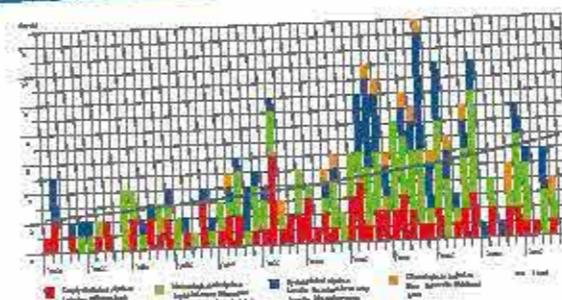
## Kleine Erwärmung Dramatische Folgen

Seit 150 Jahren sammeln sich immer mehr Treibhausgase in der Atmosphäre, die zu einem anthropogenen (Zusatz-) Treibhauseffekt führen. Zusammen mit den Rückkopplungen innerhalb des Klimasystems erhöht sich fortschreitend die globale Mitteltemperatur. Mit dem Klimawandel drohen uns gewaltige Schäden, die heute schon spürbar sind: Gletscher schmelzen, Fluten, Unwetter, Stürme und Dürren. Was heute als Extremereignis gilt, könnte schon bald Normalität sein. Problematisch ist auch, dass viele gefährdete Ökosysteme in den Entwicklungsländern liegen. Sie können sich wegen fehlender finanzieller Mittel nur schwer an den Klimawandel anpassen. So treffen die Auswirkungen besonders diejenigen, die

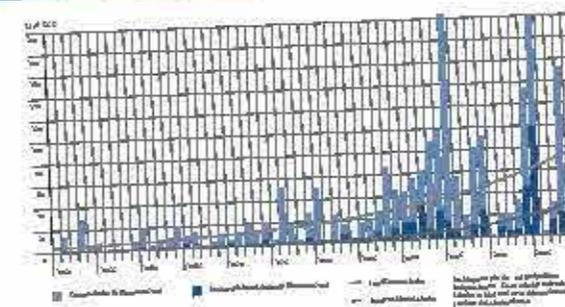
am wenigsten zur Erderwärmung beitragen. Wichtig ist auch die Frage, wie sich der wirtschaftliche Aufschwung der Schwellen- und Entwicklungsländer auswirkt: stoßen sie mittlerweile doch über 55 % der globalen Emissionen aus. Wie können sie aus den Fehlern der Vergangenheit lernen, wie einen neuen (ressourcenschonenden) Weg der wirtschaftlichen Entwicklung beschreiten? Und wie können – müssen die Industrieländer diese nachhaltige Entwicklung unterstützen? Positive Beispiele in Deutschland und anderen Ländern zeigen, dass wirtschaftliche Entwicklung und Energiebedarf entkoppelt werden können.

### ANZAHL DER EREIGNISSE

Das Diagramm zeigt für jedes Jahr die Anzahl der Großkatastrophen



### Gesamt Schäden und versicherte Schäden



Große Naturkatastrophen und die verursachten Schäden von 1950–2008: Deutlich sichtbar sind Trends in der Zunahme von Naturkatastrophen. 2005 war ein Rekordjahr: das bisher teuerste Naturkatastrophenjahr der Versicherungsgeschichte mit rund 650 Schadenereignissen, hauptsächlich Wetterkatastrophen.

## Fakt ist...

... seit den letzten 150 Jahren ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre durch Verbrennung fossiler Energieträger um mehr als 35 % gestiegen.

... die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration hängt auch von der Aufnahmekapazität der Vegetation, des Erdbodens, der Ozeane ab, die als biologische Senken CO<sub>2</sub> binden.

... das Klimasystem reagiert träge. Trotz Stabilisierung / Reduktion der Emissionen dauert die Erwärmung noch lange an. Alles, was wir heute unternehmen, wird sich erst in vielen Jahren positiv auswirken.

... alle Regionen der Welt sind von den Folgen des Klimawandels betroffen und müssen gemeinsam nachhaltige Wege für einen effizienten globalen Klimaschutz suchen.

# UNWIDERRUFLICHE VERÄNDERUNGEN?!

## Die „Achillesfersen“ unseres Erdsystems

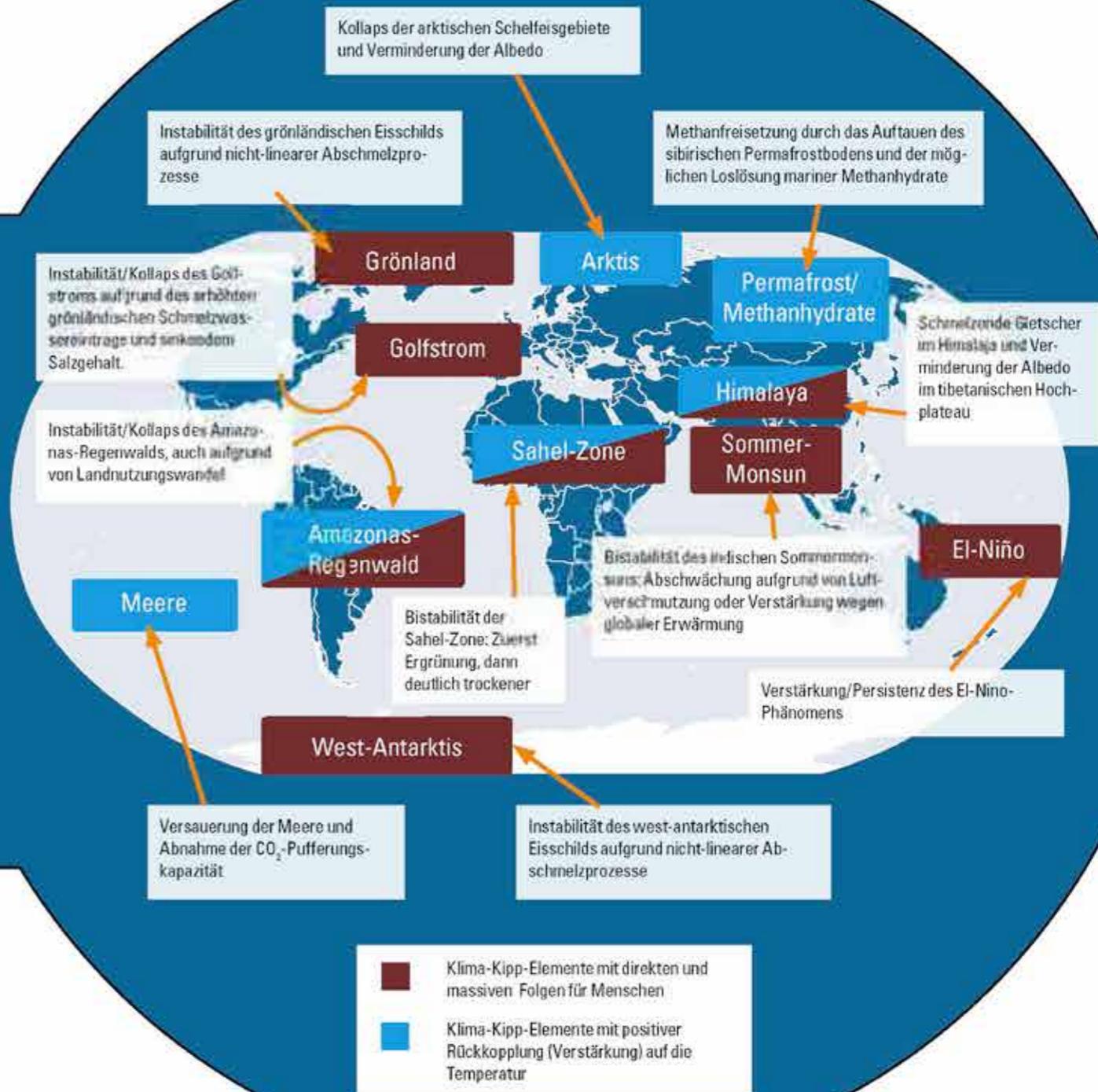
Seit etwa 10 Jahren wird in der Wissenschaft ein neues Forschungskonzept zum menschlichen Einfluss auf das Klima diskutiert: das Konzept der Kipp-Punkte (Tipping-Points): entwickelt und genauer unter die Lupe genommen durch das internationale Forscherteam um T. Lenton (University of East Anglia) und H. J. Schellnhuber (PIK Potsdam).

Neben dem Grönland-Eis und Amazonas-Regenwald gehören auch die nördlichen Nadelwälder, die El-Nino-Ereignisse und Methan zu den elf Elementen des globalen Klimasystems, die einen „Tipping-Point“ haben. Bei bestimmten Schwellenwerten beginnen diese Elemente zu „kippen“. Die Folge: Sprunghafte und teilweise unumkehrbare Veränderungen für das Erdsystem und all seine Bewohner werden in Gang gesetzt. Viele dieser Kipp-Prozesse sind selbstverstärkend. Von den Kipp-Punkten haben der Grönländische Eisschild, das arktische Meereis und die Thermohaline Atlantikzirkulation das größte Potenzial für direkte Auswirkungen auf Europa.

Die Forschungsergebnisse belegen: ein Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um mehr als 2 Grad muss verhindert werden! Die Kippelemente sollten bei der Fortentwicklung der internationalen Klimapolitik daher besonders berücksichtigt werden.

„Diese Kipp-Punkte sind die Achillesterse unseres Planeten. Wir sollten diese Kippschalter tunlichst nicht aktivieren. Manche könnten zu Punkten ohne Wiederkehr geraten... Im schlimmsten Fall droht mittels selbst verstärkender Effekte sogar ein „galoppierender Treibhauseffekt“.“

Zitat von Prof. H.J. Schellnhuber

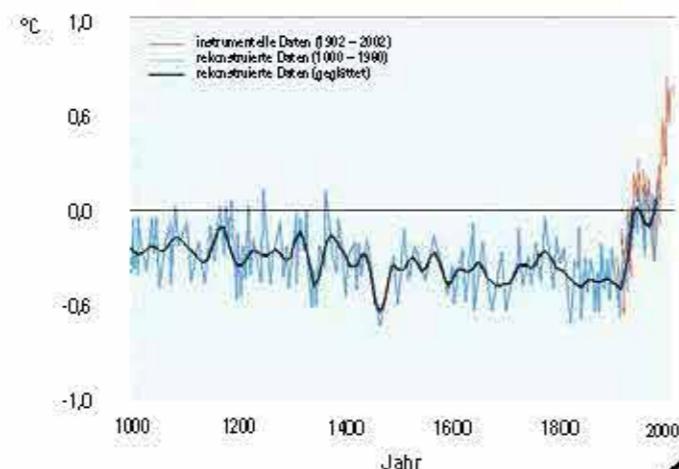


## Der Blick in die Vergangenheit 4,6 Milliarden Jahre Klimageschichte

Seen in der Sahara, Gletscher und Kältesteppen in Mitteleuropa, gewaltige Vulkanausbrüche in der Eifel – woher wissen wir davon?

Fossilien, Steine, Korallen, in Sedimenten eingeschlossene Pollen, Gasblasen im Eis – sie und noch andere bilden ein einzigartiges Klimaarchiv. Durch sie wissen wir heute, unter welchen Lebens- und Klimabedingungen die Tiere und Menschen früher lebten.

Wer den Klimawandel heute begreifen will, muss sich mit der geologischen Vergangenheit der Erde beschäftigen: Aufgrund der schon seit 4,6 Milliarden Jahren andauernden Klimaschwankungen diskutieren Forscher verstärkt auch die natürlichen Ursachen des Klimawandels. Denn das Klima war schon immer langfristigen Veränderungen und kurzfristigen Schwankungen unterworfen, sodass der momentane Klimawandel eigentlich nichts Neues ist. Sorgen macht uns allerdings der rapide Temperaturanstieg der letzten 150 Jahre, der einzigartig ist, wie die Abbildung zeigt.



Temperaturveränderung der letzten 1000 Jahre

## Klimaarchive

### Die Quellen unseres Klimawissens

Erst seit Beginn des 17. Jahrhunderts werden in Europa Klimadaten mithilfe moderner Messinstrumente erfasst und gespeichert. In anderen Teilen der Welt gibt es diese erst seit ca. 100 Jahren. Um das frühere Erdklima, das so genannte Paläoklima, zu rekonstruieren, stützt man sich deshalb auf Indikatoren aus Klimaarchiven. Sie liefern den Klimaforschern wichtige Hinweise für natürliche und menschliche Einflüsse auf das Klima und zugleich Grundlagen für Prognosen zur zukünftigen Klimaentwicklung.

Aufzeichnungen über das Klima vergangener Zeiten finden sich in ganz unterschiedlichen Archiven, etwa auf Gemälden, in Wettertagebüchern, in Chroniken und Rechnungsbüchern zum Preis von Wein und Getreide oder auch in Schiffstagebüchern, die vom Wetter auf den Ozeanen berichten. Zu den ältesten historischen Informatio-

nen gehören die etwa 8.000 Jahre alten Höhlenzeichnungen im südalgerischen Tassilgebirge oder die phänologischen Aufzeichnungen der Kirschblüten ab 705 nach Christus in Japan. Je weiter wir aber in die Erdgeschichte zurückblicken, desto ungenauer und unsicherer wird das Bild vom Klima der Vergangenheit. Deshalb ist die Klimaforschung ausschließlich auf so genannte Proxydaten, also indirekte Klimadaten, angewiesen. Diese Proxydaten gewinnen die Wissenschaftler aus unterschiedlichen Klimaarchiven wie z. B. aus Baumringen, Pollen aus Sedimenten oder Torfschichten, Eisbohrkernen oder Tiefseesedimenten der Ozeane, deren Klimadaten alle unterschiedlich weit in die Vergangenheit zurückreichen. Dadurch wird die Rekonstruktion des Paläoklimas erst möglich.



Pollen von Tannen aus Alaska

# Die stillen Zeugen

## Methoden zur Klimarekonstruktion

Mithilfe der Baumringanalyse – der Dendroklimatologie – erhalten die Klimaforscher Proxydaten, die in Mitteleuropa mehr als 12.000 Jahre zurückreichen. Dies ist nur möglich, da neben lebenden Bäumen auch Holz von lange toten Bäumen verwendet wird wie etwa von Baumstämmen aus Mooren oder Balken aus Fachwerkhäusern. Mit der Analyse von (fossilen) Pollen, die z. B. in Mooren (Torfschichten) und Seen (Sedimente) gespeichert sind, erhalten die Klimaforscher Daten zur Vegetation, die bis etwa 40.000 Jahre zurückreichen. So zeigen Hasel- und Eichenpollen eine Warmzeit an, Kiefern und Birken wachsen dagegen stärker in Kaltzeiten. Eisbohrkerne, z. B. aus der Antarktis, liefern über die so genannte Sauerstoffisotopenanalyse

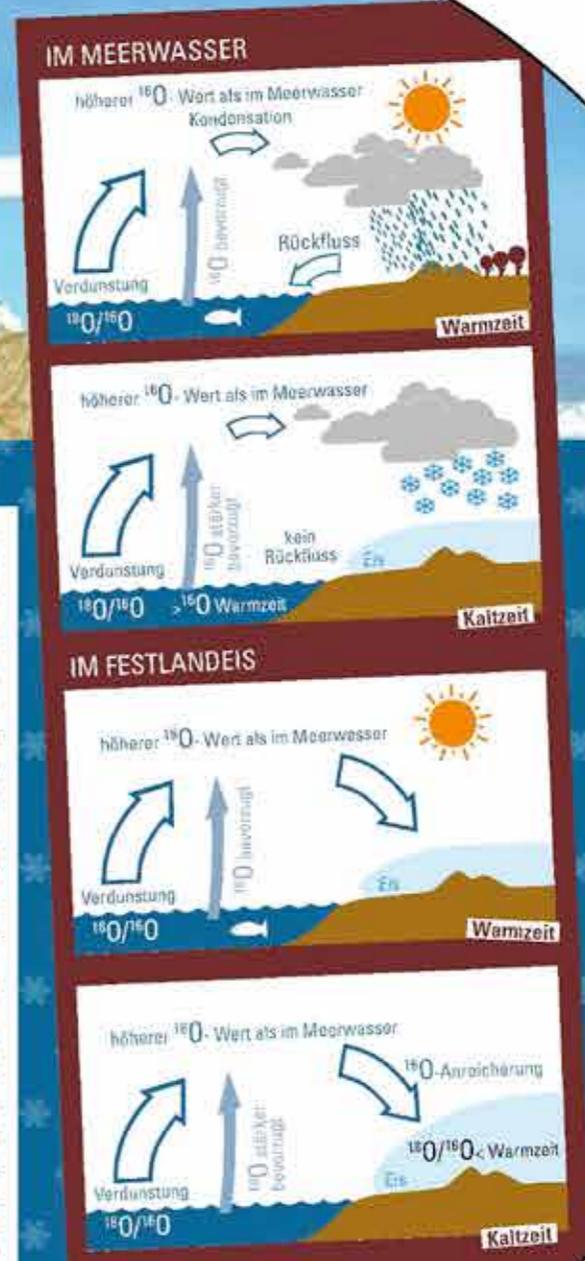
Daten von maximal 400.000 Jahren Klimageschichte. Analysiert man Tiefseesedimente mithilfe dieser Methode, reichen die Aussagen viele Millionen Jahre zurück. Damit ist die Sauerstoffisotopenanalyse die aussagekräftigste Methode zur erdgeschichtlichen Datenerfassung. Durch das breite Methodenspektrum der Klimaforschung können die Wissenschaftler die komplexe Geschichte des Erdklimas immer genauer darstellen. Aus der Synthese der Klimadaten der verschiedenen Archive lassen sich so einigermaßen zuverlässige Aussagen über die Vergangenheit machen – und nur so können wir die Ursachen für Klimaänderungen und -schwankungen in der Zukunft herausfinden.

Mithilfe der Baumringe kann nicht nur das Alter der Bäume bestimmt werden, sondern auch das Klima der Vergangenheit.



## SAUERSTOFFISOTOPENANALYSE

Sie gibt das temperaturabhängige Verhältnis der Sauerstoffisotopen mit den Massenzahlen 18 ( $^{18}\text{O}$ ) und 16 ( $^{16}\text{O}$ ) in Eis und Meerwasser an, was sich in Eisbohrkernen und Tiefseesedimenten widerspiegelt. Das seltenere Isotop  $^{18}\text{O}$  besitzt dieselbe Anzahl an Protonen und Elektronen, jedoch zwei Neutronen mehr als das häufigere Isotop  $^{16}\text{O}$ .  $^{18}\text{O}$  ist damit schwerer als  $^{16}\text{O}$ . Je kälter es ist, desto langsamer verdunsten im Meerwasser  $^{18}\text{O}$ -Wassermoleküle im Vergleich zu  $^{16}\text{O}$ -Wassermolekülen. So kommt es in den Kaltzeiten zu einer stärkeren Anreicherung von  $^{16}\text{O}$  in den Eiskappen der Pole, wodurch ein ausgeprägtes Ungleichgewicht zwischen  $^{18}\text{O}$  (viel) und  $^{16}\text{O}$  (wenig) entsteht. Weil verhältnismäßig mehr  $^{18}\text{O}$  verdunstet und im Eis gebunden ist, verstärkt sich dadurch der Anteil von  $^{18}\text{O}$  im Meerwasser. Die Meeresorganismen lagern verstärkt  $^{18}\text{O}$  in ihre Kalkschalen ein. Ein hoher  $^{18}\text{O}$ -Anteil in den Kalkschalen weist also auf kalte Klimaverhältnisse hin, ein niedriger auf warme Bedingungen. Die Sauerstoffisotopenanalyse wird daher auch als geologisches Thermometer bezeichnet. Wie alle paläoklimatologischen Methoden sind auch beim  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verfahren Fehler bei der Temperaturbestimmung möglich, da sich bestimmte Meeresorganismen wie z. B. der Nautilus (Kopffüßler, der seit etwa 300 Millionen Jahren in unveränderter Form existiert) nicht das ganze Leben in denselben Temperaturschichten aufhalten.



# Der Blick in die Zukunft

## Klimamodellierungen für das 21. Jahrhundert

Viele Menschen glauben, dass die Bedrohung durch den Klimawandel eine theoretische Möglichkeit ist, die sich aus unsicheren Modellberechnungen ergibt. Klimamodelle sind für den Laien meist undurchschaubar, die Verlässlichkeit kaum einzuschätzen. Manch einer glaubt gar, wenn die Computermodelle fehlerhaft sind, dann gibt es vielleicht keinen Grund zur Sorge über den Klimawandel.

Die Realität sieht jedoch anders aus; der Mensch verändert das Klima einschneidend. Dies ist gemessene Tatsache! Um zumindest annähernd die zukünftige Entwicklung bei geänderten Klimabedingungen voraussagen zu können, hat die Wissenschaft spezielle Klimamodelle erarbeitet. Zwei Fragen stehen im Vordergrund:

- Wie entwickelt sich das Klima (global, regional) durch den weiteren Anstieg der von uns verursachten Emissionen von Treibhausgasen?
- Welche Folgen hat der zu erwartende Klimawandel?

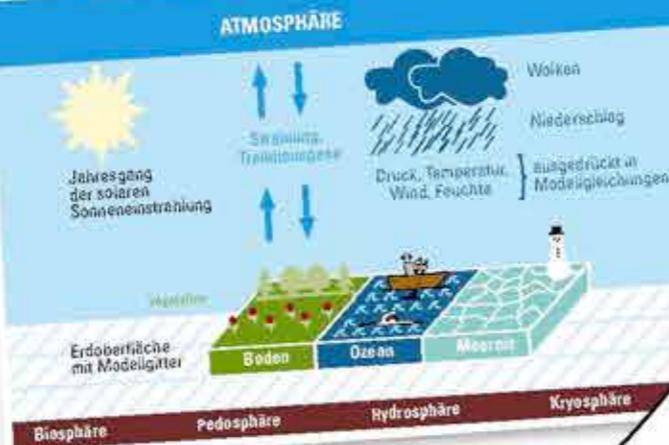
Ähnlich wie bei einem Flugsimulator können also mit Klimamodellen unter bestimmten Vorgaben (= Randbedingungen) verschiedene Zukunfts-Szenarien detailliert durchgerechnet werden. Dieser berechnete Blick in die Zukunft ermöglicht es, die Auswirkungen unseres Einflusses auf das Klima zu erfahren und dementsprechend zu handeln!



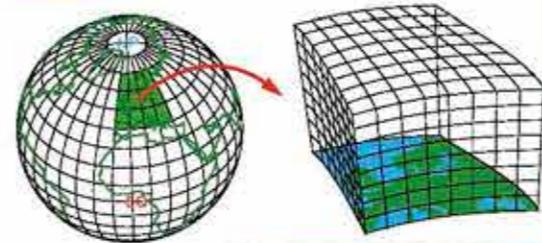
Auch wenn es gar keine Klimamodelle gäbe, würden Klimatologen vor dem anthropogenen Klimawandel warnen!

### Vorhersagen per PC Die Klimamodelle

Wie alle Modelle sind auch Klimamodelle Abbilder der Realität. Es sind (anders als die Wirklichkeit) geschlossene Systeme. Basierend auf den Grundgesetzen der Physik simulieren sie das Klimasystem der Erde und seine Veränderungen. Durch mathematische Formeln und Gleichungen wird das Verhalten von Luft-, Eis- und Wassermassen auf der rotierenden Erde beschrieben. Kernstück eines jeden Klimamodells sind die Zusammenhänge zwischen den atmosphärischen Parametern Druck, Temperatur, Wind und Feuchte sowie deren zeitliche Entwicklung. Atmosphäre und Ozean gelten als die wichtigsten Subsysteme des Klimasystems. Bei der Kopplung beider Modelle gilt es die Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre möglichst realitätsnah zu berechnen.



Struktureller Aufbau eines Klimamodells mit den 5 Komponenten im Klimasystem



Ausschnitt Aufbau Klimamodell. Auf der rechten Seite ist ein Ausschnitt des stockwerkartigen Gittersystems dargestellt, in das die Komponenten des Klimasystems eingebettet werden.

Um die Auswirkungen globaler Klimaänderungen auch auf Europa und Deutschland zu untersuchen, werden regionale (feinmaschigere) Klimamodelle in globale Modelle eingebettet. Der Vorteil:

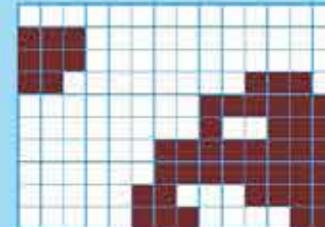
- ☑ Gitterabstände von 50 km für Europa, 10 km für Deutschland
- ☑ zahlreiche Detailinformationen zu den Regionen
- ☑ Darstellung regionaler Auswirkungen.

Wie gut oder schlecht ein Klimamodell funktioniert, bemisst sich daran, wie detailgetreu die jüngste Klimageschichte durch das Modell simuliert und wie gut das globale heutige Klima beschrieben wird. Im Kern unterscheiden sich Klimamodelle nicht von den Wettervorhersagemodellen; sie blicken jedoch weiter in die Zukunft und beziehen zusätzlich die globalen Randbedingungen wie die steigende Treibhausgaskonzentration, Landnutzung, Vegetationsbedeckung mit ein.

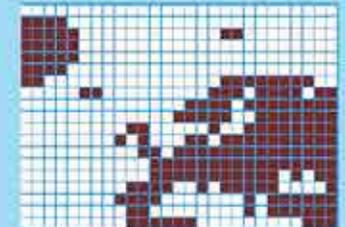


In Klimamodellen kann nicht jedes Luft- und Wasserteilchen an jedem Punkt der Erde repräsentiert werden. Daher wird die Erde mit einem dreidimensionalen Gitter überzogen. An den Gitterpunkten werden die Berechnungen durchgeführt. Die Genauigkeit ist abhängig von der Maschenweite des Gitternetzes. Je geringer der Gitterabstand ist, desto genauer arbeitet ein Klimamodell; desto genauer sind die Simulationen für das zukünftige Klima.

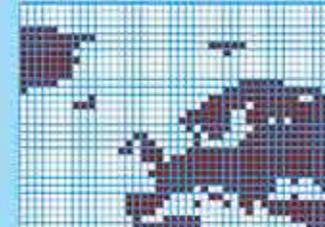
### Europa in verschiedenen Modellauflösungen



T21  
Modellauflösung:  
Gitterabstand = ca. 500 km



T42  
Modellauflösung:  
Gitterabstand = ca. 250 km



T63  
Modellauflösung:  
Gitterabstand = ca. 180 km



T106  
Modellauflösung:  
Gitterabstand = ca. 110 km

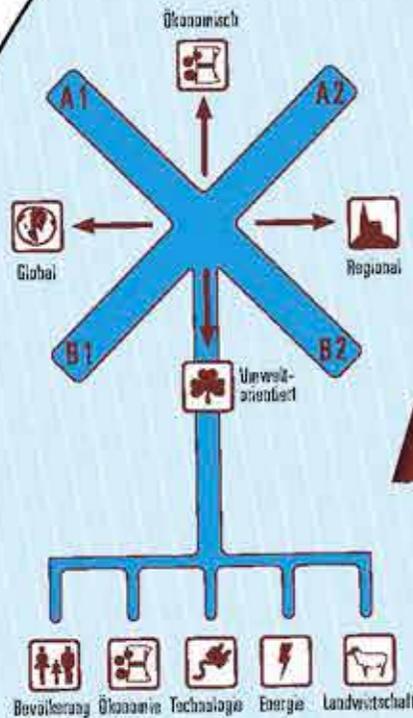


Fakt ist, computergestützte Klimamodelle sind wie jede Methode der menschlichen Erkenntnis mit Fehlern und Mängeln behaftet, die die Wirklichkeit verstellen, sogar verfälschen können; aber gleichzeitig sind sie ein wertvolles Instrument, um in die Gesetzmäßigkeiten dieser Wirklichkeit Einblick zu erhalten.

# Ökonomie gegen Ökologie

## Welche klimatische Zukunft werden wir uns schaffen?

Die internationale Wirtschaft zielt nur auf Gewinne! Die Umweltschützer entwerfen ein unrealistisches Horrorszenario! So oder ähnlich lauten die Argumente, die sich beide Seiten regelmäßig an den Kopf werfen. Dass die Sache viel zu ernst ist, um sich sinnlos zu streiten, haben inzwischen auch die meisten Länder und Regierungen erkannt. Der „Zwischenstaatliche Ausschuss zum Klimawandel“ – kurz IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) – ein Gremium mit mehr als 1.000 Wissenschaftlern aus aller Welt – beschäftigt sich seit 1988 mit Fragen des Klimawandels. Sie erforschen, wie sich die Emissionen von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen entwickeln werden, wenn:



Die Szenarien-Familien A1, A2, B1 und B2

- die Zahl der Menschen auf der Erde wächst oder schrumpft
- die Weltwirtschaft sehr schnell weiter wächst oder eher stagniert
- die Weltregionen in ihrer Entwicklung enger zusammen rücken oder nicht
- Energie vor allem aus Öl und Kohle gewonnen wird oder eher aus erneuerbaren Energiequellen
- dank moderner Technologien immer weniger Material verbraucht wird.

Aus den unterschiedlichen Annahmen über den demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Wandel haben sie Szenarien entwickelt, unterteilt in 4 Hauptgruppen und gekennzeichnet mit Großbuchstaben sowie Zahlen: A1, A2, B1 und B2. Die Szenarien der Gruppen A1 und A2 gehen von einer primär ökonomisch orientierten Welt aus, während die Szenarien der Gruppen B1 und B2 an eine ökologische und nachhaltige Entwicklung der Menschheit glauben.

Würde das A2-Szenario Wirklichkeit, werden wir in Zukunft noch mehr Treibhausgase in die Atmosphäre jagen mit der Folge eines besonders drastischen Konzentrations- und Temperaturanstiegs. Besser sieht es im B1-Szenario aus, wo sich durch verbesserte Technologie die Konzentrationen der Treibhausgase und die Erwärmungsraten in Grenzen halten. Selbst im Falle einer drastischen Klimaschutzpolitik und der völligen Einstellung der Emissionen in naher Zukunft (was rein hypothetisch ist) ist der Klimawandel aufgrund der langen atmosphärischen Verweilzeit der meisten Treibhausgase (ca. 100-8.000 Jahre) nicht abzuwenden, nur zu mildern.

Die Ergebnisse des IPCC werden in den Sachstandsberichten zum Klimawandel veröffentlicht; siehe auch:  
→ [www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/)

# Das Gesetz von Ursache und Wirkung

## Die Folgen der Klimaänderungen in Sachsen

Der Klimawandel wird erhebliche Folgen nach sich ziehen, die für natürliche und menschliche Systeme positiv und negativ sein können. Manche Auswirkungen sind zudem stark nicht linear. Schon heute liegen genügend Beobachtungen vor, die darauf hinweisen, dass regionale Klimaänderungen bereits Auswirkungen auf physikalische und biologische Systeme haben. Entsprechend ist davon auszugehen, dass sich diese und andere Folgen bei einer weiteren globalen Erwärmung in Zukunft verstärken werden. Fakt ist, bei einer weltweiten Erwärmung über 2 Grad besteht die Gefahr, dass die Folgen des Klimawandels für uns nicht mehr beherrschbar sind.

Mit dem Wissen aus unseren Klimaprojektionen liegt es also auf der Hand, rechtzeitig Strategien und Maßnahmen zur Vorsorge und Anpassung an den Klimawandel in Sachsen zu entwickeln. Sie mindern die Risiken und nutzen die Chancen insbesondere in den Bereichen:



Wasserwirtschaft



Tourismus



Ökologie



Forst- und  
Landwirtschaft



Gesundheit



Siedlungen

### ZWEI ZENTRALE FRAGEN STEHEN DABEI IM VORDERGRUND:

- ☑ Welche Veränderungen in den letzten 100 Jahren lassen sich in natürlichen und menschlichen Systemen bereits als Folgen der bisherigen Klimaänderung feststellen?
- ☑ Mit welchen Folgen ist aufgrund künftiger Klimaänderung im 21. Jahrhundert und auch danach zu rechnen?

### SCHON GEWUSST?

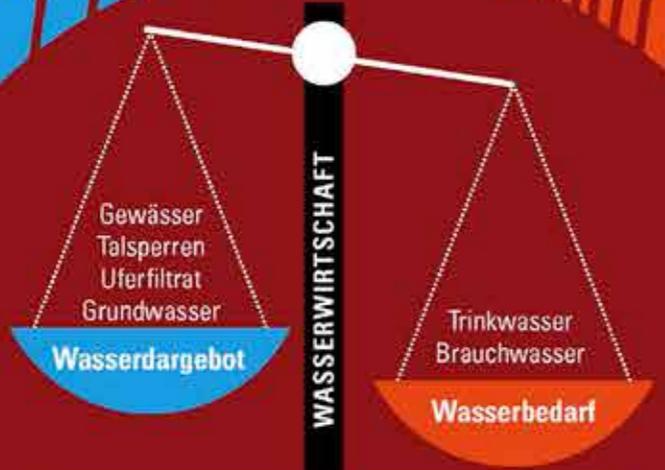
Anpassungsfähigkeit bezeichnet die Fähigkeit eines Systems, mit den Folgen des Klimawandels zurechtzukommen, potenziell negative Folgen in Grenzen zu halten und Vorteile aus den neuen Bedingungen zu ziehen. Natürliche Systeme werden sich bis zu einem gewissen Grad autonom an das neue Klima anpassen. Auch wir Menschen können mit dem Klimawandel zurecht kommen. Ob wir darauf angemessen reagieren, hängt stark ab von Faktoren wie Reichtum, Technik, Bildung, Informationsstand, Fertigkeiten, Infrastruktur, Zugang zu Ressourcen und Managementfähigkeiten.

# Wo ist das Wasser?

## Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft



Einfluss auf den Wasserhaushalt



Anstieg der Lufttemperatur

Längere Trockenperioden

HOCHWASSER

**AUFGABE:**  
Wassermenge und Qualität sichern  
Raumlich und zeitliche Unterschiede ausgleichen

Der Mensch greift in den natürlichen Wasserhaushalt ein und verändert Wasserwege, Wassermengen, Wasserqualität. Die teilweise gravierenden Folgen solcher Eingriffe als auch die schon spürbaren und die prognostizierten Auswirkungen globaler und regionaler Klimaveränderung bestimmen heute wasserpolitische Entscheidungen.  
(<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/index.html>)

### Konfliktpotenziale:

Aufgrund der Klimaerwärmung werden Wetterlagen mit Südwestwinden zunehmen. Das Erzgebirge wird immer mehr als Regenbarriere fungieren. Durch die Lage Sachsens nördlich des Erzgebirges wird es damit gravierende regionale Unterschiede im Niederschlag und im Wasserhaushalt geben. Nordsachsen liegt zudem im Lee von Harz und Thüringer Wald. Deshalb sind die Niederschläge hier geringer. Dieser Lee-Effekt wirkt sich bis in die östlichen Gebiete aus. Deutlich zu erkennen ist auf der Abbildung der West-Ost-Gradient der Niederschläge, der mit erheblichen

regionalen Veränderungen der klimatischen Wasserbilanz einhergeht.

**DEFINITION:** klimatische Wasserbilanz = Niederschlag – potenzielle Verdunstung. Die klimatische Wasserbilanz wird in vielen volkswirtschaftlichen Sektoren wie Land-, Forst- und Wasserwirtschaft als Maßzahl für die Wasserverfügbarkeit verwendet. Sie ist Grundlage für längerfristige Planungen – beispielsweise im Waldumbau – und kurzfristige Entscheidungen, insbesondere bei der Steuerung von Talsperren.



Veränderungen der klimatischen Wasserbilanz der Zeiträume 1961 – 1990, 1991 – 2005 (jeweils für das Sommerhalbjahr) und 2050 im Vergleich



# Konfliktpotenziale bei Talsperren

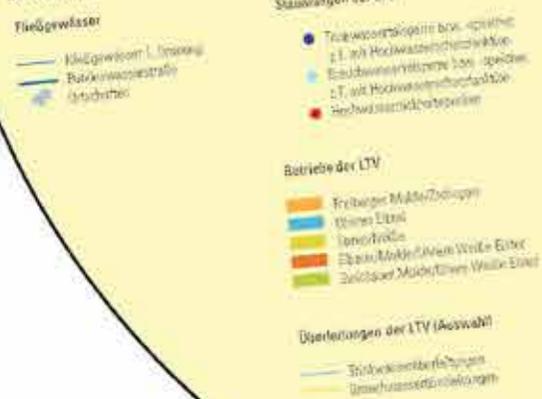
## Es wird trocken ...

Der Vergleich zeigt: In Sachsen wird es trockener. Die Zeiträume, in denen der Niederschlag größer ist als die potenzielle Verdunstung, werden kürzer; vor allem in Ostsachsen: Um etwa 110 mm/Jahr nehmen die Niederschläge hier ab. Im Winterhalbjahr sind besonders die höheren Lagen des Erzgebirges betroffen. Die Bilanz im sächsischen Tiefland verändert sich weniger. In den Sommermonaten dominiert der West-Ost-Trend – es ist die kritischste Zeit: Die Veränderungen der Niederschläge haben Auswirkungen auf Wassermenge, Wasserqualität und Gewässerökologie.

**Das bedeutet:** Die Wasserbewirtschaftung in den Talsperren wird anspruchsvoller, Gewässer trocknen aus, die Grundwasserneubildung geht zurück. Die Folge: „Trockenheitsstress“ in den Ökosystemen, Anbauprobleme in der Land- und Forstwirtschaft. Auch die Vielfalt der Arten kann sich verschieben. Schon jetzt bekommen wir diese Probleme zu spüren: Blaualgen und Bakterien vermehren sich in Talsperren und Seen, Landwirte müssen mehr in die Bewässerung investieren. Bei der Energieerzeugung mittels Wasserkraft gibt es Ertragsverluste, bei Nied-

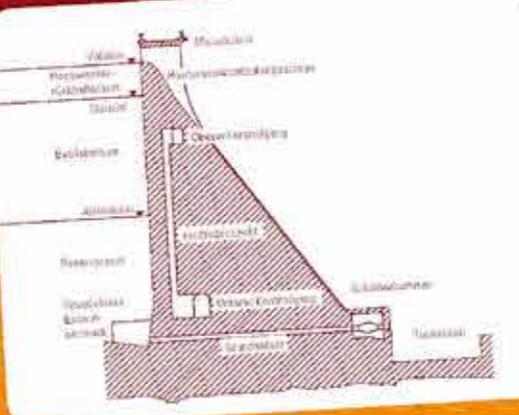
rigwasser steigt die Schadstoffkonzentration, die sich auch in Fischen anreichern kann. Kraftwerke bekommen durch zu warme Gewässer Kühlungsprobleme. Diese Nutzungskonflikte an unseren mehr als 60 Talsperren und Wasserspeichern verschärfen sich: Sie sollen ausreichend Rohwasser für unsere Trink- und Brauchwasserversorgung zur Verfügung stellen, Gewässer vor Austrocknung bewahren und gleichzeitig im Hochwasserfall vorsorgen: ein Spagat.

DIE STAUANLAGEN DER LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN



**Könnte** durch die Verringerung des mittleren Talsperrenzuflusses weniger Trink- und Brauchwasser für Landwirtschaft, Energieversorgung und für uns Menschen vorhanden sein? Mit welchen Maßnahmen können wir uns an das sich verändernde Wasserdargebot und Veränderungen im Wasserbedarf anpassen – insbesondere, wenn mehr Wasser gebraucht wird, als da ist? Und wie wirkt sich das wärmere Klima auf die Wasserqualität aus? Fragen, auf die bereits heute aus Forschung und langjährigen Erfahrungswerten der Landestalsperrenverwaltung Antworten vorliegen; umgesetzt in Form verschiedener Anpassungsmaßnahmen.

Talsperren sind komplexe Bauwerke mit hohen sicherheitstechnischen Anforderungen. Viele sächsische Talsperren können über ein System aus Rohren, Stollen, Fließgewässern oder Gräben im Verbund bewirtschaftet werden. Bei Wasserengpässen oder Qualitätsproblemen in einer Talsperre kann so Rohwasser aus anderen Talsperren an die Wasserwerke abgegeben werden. Ein Beispiel ist der Talsperrenverbund Mittleres Erzgebirge-Ostergebirge. Mit ihm sichert Sachsen die Trinkwasserversorgung für die Ballungszentren Chemnitz und Dresden sowie für deren Umland.



**Klimaanpassung:**

Der Klimawandel beeinflusst und verändert den Wasserhaushalt mit Folgen für den Naturhaushalt und die vom Menschen geprägte Kulturlandschaft. Maßnahmen zur quantitativen + qualitativen Absicherung unseres Trink- und Brauchwassers sowie zur Hochwasservorsorge durch Talsperren und Wasserspeicher sind beispielsweise:

- ☑ regelmäßige Untersuchungen zur Wasserqualität
- ☑ Wasserentnahme an verschiedenen Höhen der Talsperre (mit der besten Wasserqualität)
- ☑ der Einsatz von Sauerstoffmatten zur Verbesserung der Wasserbeschaffenheit, vor allem in den Sommermonaten
- ☑ die deutliche Erhöhung der Hochwasserrückhalteräume seit 2002 und Planung/Bau neuer Hochwasserrückhaltebecken in den Einzugsgebieten der Flüsse (sind im Normalfall leer und werden nur bei Hochwasser eingestaut)
- ☑ Verbindung mehrerer Talsperren miteinander (= Talsperrenverbund)

Bei Hochwasser informiert die Landestalsperrenverwaltung das Landeshochwasserzentrum über die Lage an den Talsperren. Vom Landeshochwasserzentrum werden dann Hochwasservorhersagen sowie -warnungen herausgegeben; siehe auch <http://www.hochwasserzentrum.sachsen.de/>

**UND:** Die Wasservorräte in den Talsperren sind groß genug, um 2 bis 3 Trockenperioden in Folge zu überbrücken.

**Fazit der sächsischen Landestalsperrenverwaltung (LTV):** Die Talsperren werden ihrer Aufgabe der Vorsorge zwischen zu viel und zu wenig Wasser auch in Zeiten des Klimawandels gerecht!

Mehr Infos unter: [www.talsperren-sachsen.de/](http://www.talsperren-sachsen.de/)

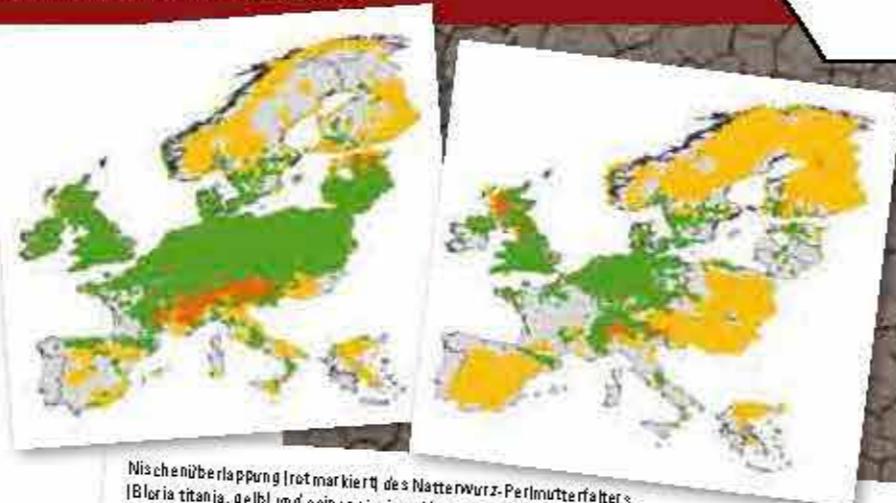
## Tiere und Pflanzen müssen umziehen

Wie viel Klimawandel vertragen unsere Pflanzen und Tiere? Die Anpassungsfähigkeit der Natur ist fantastisch, aber mit den raschen Klimaänderungen sind viele Arten überfordert. Gerade Pflanzen müssten teilweise zehnmal schneller wandern als nach der letzten Kaltzeit.

### KONFLIKTPOTENZIALE

Die Frage, ob der Klimawandel gut oder schlecht für unsere Flora, Fauna, Ökosysteme ist, lässt sich so nicht beantworten: es gibt Gewinner und es gibt Verlierer: Einige werden zurückgedrängt, andere gefördert. So wird ein Zuwachs an Pflanzenarten im Mittelgebirge erwartet. Arten mit Schadpotenzial wie Borkenkäfer breiten sich weiter aus. Die Bestäubung durch Insekten wie Bienen, Hummel, Schmetterlinge ist deutlich zurückgegangen. Und auch in Sachsen trifft der Klimawandel auf eine bereits durch vielfältige menschliche Einflüsse stark überformte und geschwächte Biosphäre:

- ☒ erhöhte Nährstoffeinträge (Eutrophierung) und Schadstoffbelastungen,
- ☒ Flächeninanspruchnahme und Zerschneidung der Landschaft,
- ☒ Entwässerungsmaßnahmen und Grundwasserabsenkung sowie
- ☒ immer mehr eingeschleppte fremdländische Pflanzen- und Tierarten



Nischenüberlappung (rot markiert) des Natterwurz-Perlmutterfalters (*Boloria titania*, gelb) und seiner einzigen Nahrungspflanze, dem Wiesens-Knöterich (*Polygonum bistorta*, grün). Die linke Grafik zeigt die momentane Nischenüberlappung, die rechte die für 2030 projizierte unter der Annahme, dass die Pflanze keine Ausbreitungsmöglichkeit hat. Entsprechend radikal sind die Änderungen – vor allem in den Alpen.

Wiesens-Knöterich  
Natterwurz-Perlmutterfalter  
Nischenüberlappung

Für viele Pflanzenarten sind Regen und Bodenfeuchte entscheidender für ihre räumliche Verteilung als die Temperatur. Bereits geringe Änderungen der Wassermenge, der zeitlichen Verteilung der Niederschläge sowie ihrer Intensität können die Ökosysteme empfindlich stören. Eine wesentliche Kenngröße ist die klimatische Wasserbilanz. Sie ist für die Beurteilung der Veränderungen des Naturhaushalts von entscheidender Bedeutung; wirken sich die für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen doch besonders auf die vom Grundwasser abhängigen Lebensräume aus.

Vor allem Feuchtgebiete (Moore, feuchte Heiden) sowie Fließ- und Standgewässer sind durch Temperaturerhöhung und Sommertrockenheit in ihrer weiteren Existenz gefährdet.

Dramatische Auswirkungen hat auch die Temperaturerhöhung: Wird es nur um 1 Grad wärmer, verschieben sich die Vegetationszonen um etwa 200–300 km polwärts bzw. um 200 Höhenmeter in den Gebirgen. Schwer haben es dann Standortspezialisten mit kühl-feuchten Lebensansprüchen, die Gewässer und Moore im sächsischen Tief- und Bergland oder kühl-schattige Täler, Felsreviere und Wälder der oberen Berglagen Sachsens besiedeln.

### DIE BIODIVERSITÄT -

die Eigenart und Vielzahl unterschiedlicher Lebensgemeinschaften, und die genetische Vielfalt werden wahrscheinlich abnehmen. Wärmeliebende Arten werden sich weiter ausbreiten (wie Bienenfresser und Silberreiher) oder neu einwandern. Für Bachforelle oder Äsche, die es kühler mögen, heißt das, sich in höhere Lagen zurückzuziehen, während Hechte oder Zwergwelse zunehmend Fließ- und Standgewässer bevölkern. Die Konkurrenzprobleme der heimischen Flora und Fauna verschärfen sich,

spezialisierte Arten sterben aus. Davon könnte auch das im Elbsandstein vorkommende Zweiblütige Veilchen, ein lebendes Relikt der letzten Kaltzeit betroffen sein, ist es doch angepasst an niedrige Temperaturen und hohe Feuchte.

Bei anhaltender Erwärmung wird sich die Flora Sachsens zur Pflanzenwelt der warm-temperierten Klimate mit (submediterranen) sommerlichen Trockenzeiten verschieben.

### Nachgefragt ??

Was sind die Dienste der Natur wert?

Man kann einem Wald oder einem Vogel kein Preisschild verpassen, und doch hat jede Art und jedes Ökosystem auch einen ökonomischen Wert. Wissenschaftler haben mal für Bienen und andere bestäubende Insekten wie Hummeln, Schwebfliegen und Schmetterlinge berechnet, was sie leisten: Auf dem Weltmarkt haben alle auf Bestäuber angewiesenen Früchte, Nüsse und Gewürze im Jahr 2005 rund 153 Mrd. Euro gekostet.

### KLIMAAANPASSUNG:

Die Ökosysteme werden sich über einen längeren Zeitraum verändern, Pflanzen und Tiere ab- und zuwandern, oder aussterben. Vor allem für Naturschutz und Landschaftspflege ist dies eine große Herausforderung, soll die Erhaltung und Förderung der Biodiversität doch einen zentralen Stellenwert einnehmen.

### STRATEGIEN DAFÜR SIND BEISPIELSWEISE:

- ☒ die Ökosysteme durch Flächensicherung zu schützen, um den vom Klimawandel benachteiligten Arten Lebensräume zu erhalten.
- ☒ Wasserhaushaltskonzepte für ausgewählte Feuchtgebiete zu entwickeln, um den Wasserrückhalt und die natürliche Vernässung zu fördern.
- ☒ die Wanderung und Ausbreitung heimischer Arten in für sie klimatisch geeignete Räume durch einen großräumigen Biotopverbund zu unterstützen.

Denn vitale Ökosysteme mit intakter Vielfalt an Arten kommen auch viel besser mit dem Klimawandel klar!

# Was wird aus den Wäldern?

## Die Entwicklung der Forstwirtschaft

Bäume können nicht fliehen. Sie stehen fest verwurzelt; mitunter mehrere hundert Jahre am selben Ort und haben bereits viele Umweltveränderungen erlebt. Bäume, die wir heute pflanzen, werden über die Zeithorizonte der Klimaszenarien hinaus dem sich ändernden Klima ausgesetzt sein. Eine unlösliche Aufgabe für die Forstwirtschaft?

**Konfliktpotenziale:** Wälder sind aufgrund der begrenzenden Faktoren Temperatur, Sonnenstrahlung und Wasser anfällig für Klimaänderungen. Sie leiden unter Hitze und Trockenheit gleich doppelt!

Neben den steigenden Temperaturen, dem verringerten Niederschlag und zunehmenden Extremereignissen reagieren Wälder auch auf einen stärkeren Schädlingsbefall, vor allem durch Borkenkäfer. Und sie sind im trockenen Sommerhalbjahr einem höheren Waldbrand-Risiko ausgesetzt. Gerade im Gebirge sind Wälder aber unter dem Blickwinkel eines vorsorgenden Hochwasserschutzes sowie zum Schutz der Siedlungen und Infrastruktur unersetzlich.

Um Anpassungsmaßnahmen für die sächsischen Wälder entwickeln zu können, wurde analysiert, welche Verbreitung die

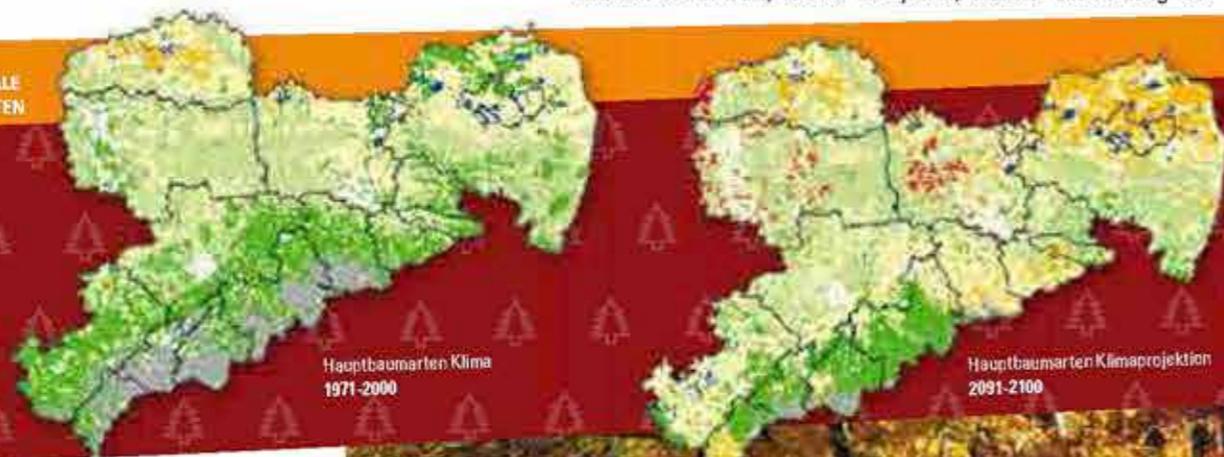
Hauptbaumarten unter heutigen und künftigen Klimabedingungen ohne Einfluss des Menschen haben würden. Hintergrund: Jede Baumart hat eine bestimmte ökologische Amplitude, anhand derer man bewerten kann, ob sie unter bestimmten Klimabedingungen vital bleibt oder aufgrund ungünstiger Klimaverhältnisse so gestresst ist, dass sie durch konkurrenzstärkere Baumarten abgelöst wird. Aussagen dazu, welche Baumarten auf konkreten Waldbodenformen unter verschiedenen Klimaverhältnissen durchsetzungsfähiger sind, geben Hinweise auf ein ökologisch stabiles Baumartenspektrum und dienen der Risikominimierung der Forstwirtschaft.

**Das Ergebnis:** Bei einer mittleren jährlichen Niederschlagssumme von beispielsweise 620-720 mm in der Dresdener Heide entfallen gegenwärtig ca. die Hälfte auf die forstliche Vegetationsperiode (physiologisch

aktive Zeit im Jahr; z.B. Blat- tentfaltung bis Laubfall). Steigende Temperaturen, längere Sonnenscheindauer, der daraus resultierende erhöhte Transpirationsbedarf der Waldgesellschaften und die Verringerung der Niederschläge vor allem im Frühjahr und Sommer führen in der Klimaprojektion zu einer erheblichen Ausweitung der extremen Trockengebiete (= „Trockenwald“) im sächsischen Tief- und Hügelland sowie der Standorte, die durch Kiefernwaldgesellschaften besiedelt werden.

Im Mittelgebirge werden Waldgesellschaften, in deren Baumschicht die Fichte als Hauptbaumart dominiert, in die Hoch- und Kammlagen zurückgedrängt. Buchendominierte Mischwälder dringen bis weit in die Hochlagen vor.

ÄNDERUNG DER VERBREITUNGSAREALE DER HAUPTBAUMARTEN



■ Trockenwald  
■ Stiel- und Traubeneiche  
■ Hainbuche  
■ Rotbuche  
■ Waldkiefer  
■ Fichte  
■ Erle

□ Siedlungsfläche  
~ Grenze Forstbezirks

### Klimaanpassung:

Die Strategie der sächsischen Forstwirtschaft: Risikostreuung durch Vielfalt! Ziel ist es, durch intensiven und naturnahen Waldumbau ein stabiles Waldökosystem zu schaffen. In den trockensten Regionen Sachsens, im Tief- und Hügelland, sollen in Abhängigkeit von den konkreten Waldbodeneigenschaften trocken-tolerante einheimische Baumarten wie Traubeneiche und Hainbuche sowie fremdländische Baumarten wie Robinie, Roteiche angebaut und gefördert werden. Nur so lässt sich die Vegetationsform Wald erhalten.

Im Mittelgebirgsbereich verliert die nicht standortgerechte Fichte an Bedeutung (anfällig für Borkenkäferbefall, Sturmschäden). Eichen-

und Buchenwaldgesellschaften sind in den unteren und mittleren Berglagen ökologisch stabiler. Hier wird durch den bereits heute praktizierten Waldumbau ein intensiver Baumartenwechsel stattfinden. So sind beispielsweise Rotbuche, Weißtanne, Douglasie, Bergahorn, Stiel- und Traubeneiche standortsgerechte Baumarten mit einer breiteren ökologischen Amplitude und einer größeren Wärme- und Trockentoleranz. Im Vergleich dazu konzentriert sich der Waldumbau in den Hoch- und Kammlagen der Mittelgebirge auf eine Annäherung der Bestandesstruktur der Fichtenforste an die natürlicher Fichtenwälder.

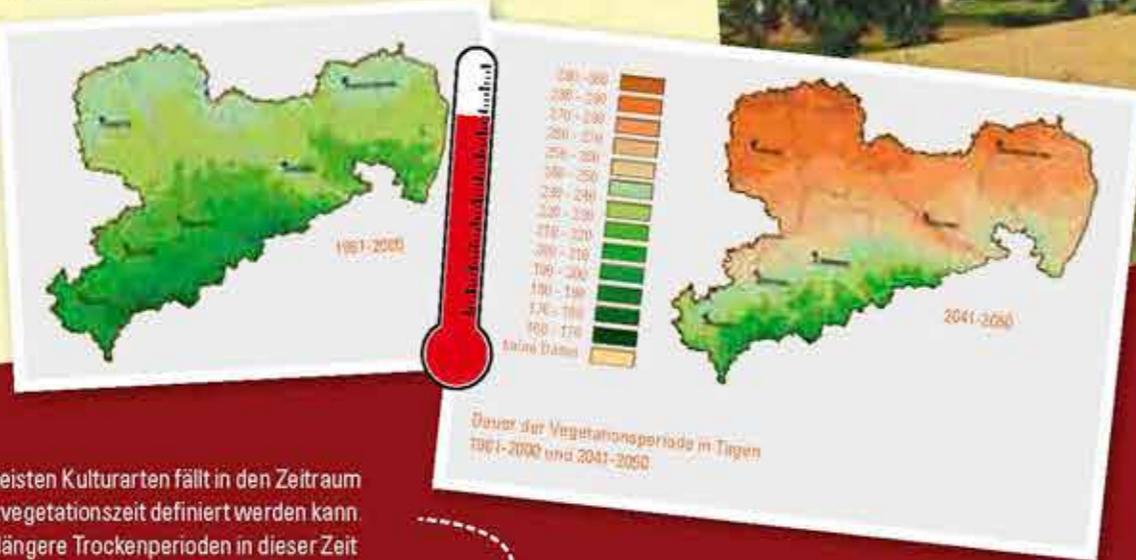
# Was wird geerntet?

## Die Potenziale der Landwirtschaft

### DIE GUTE NACHRICHT ZUERST:

Durch das wärmere Klima, den früheren Vegetationsbeginn (milde Winter) oder ein späteres Vegetationsende (milder Herbst) verlängert sich die landwirtschaftliche Vegetationsperiode im 21. Jahrhundert: Für die Leipziger Tieflandsbucht, das Leipziger Land bis hin zum südlichen Sächsischen Hügelland um 30–50 Tage, im Elbtal um 20–30 Tage und in den höchsten Lagen des Erzgebirges um maximal 5 Tage bis zum Jahr 2050. Auch für wärme liebende Arten wie Wein werden sich die Anbaubedingungen verbessern. Die bisher feucht-kühlen Vor- und Mittelgebirgslagen im Süden von Sachsen (Elsterbergland, Vogtland, Erzgebirgsvorland, Erzgebirgskamm) werden durch den Klimawandel am ehesten landwirtschaftlich begünstigte Standorte sein.

Und auch der ansteigende CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre (= Düngungseffekt) wirkt sich nach bisherigen Erkenntnissen positiv auf die Ertragsbildung aus, insbesondere bei so genannten C3-Pflanzen: Getreide, Raps, Rüben, Kartoffeln.



### Konfliktpotenziale:

Das Pflanzenwachstum der meisten Kulturarten fällt in den Zeitraum April – Oktober, was als Hauptvegetationszeit definiert werden kann. Steigende Temperaturen und längere Trockenperioden in dieser Zeit führen zur Austrocknung der Bodenoberflächen und beeinflussen das Wachstum insbesondere der Sommerkulturen negativ.

### Die Folgen:

Die Folgen: Winderosion sowie Trockenstress und Ertragsverluste bei landwirtschaftlichen Kulturen. Besonders betroffen sind die Oberlausitz und Nordsachsen, speziell das Riesaer-Torgauer Elbtal und der östliche Teil des sächsischen Heidegebietes.

Durch Wetterextreme (Dürre, Hagel, Starkregen) bedingte Ertragsausfälle (im Pflanzen-, Garten- und Weinbau) werden häufiger. Zudem erhöht sich

das Risiko von Bodenerosion und Überschwemmungen auf den Feldern – Düngemittel können in Gewässer eingetragen werden, sickern ins Grundwasser – die Bodenfruchtbarkeit wird beeinträchtigt. Agrarumweltprobleme können zunehmen; die Erreichung wichtiger Umweltziele wie z.B. eine „gute chemische und ökologische Wasserqualität“ nach der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie wird erschwert/ gefährdet.



Auch Pflanzenkrankheiten häufen sich, es gibt neue (wärmeliebende) Unkrautarten und durch vermehrte Überwinterung mehr Schädlinge. Dies sind Probleme, mit denen vor allem Nord- und Ostachsen sowie das sächsische Lößgebiet konfrontiert werden.

### Mehr Schädlinge?

Die wachsenden Populationen von Pflanzenschädlingen könnten zu vermehrtem Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln (Pestiziden) in der konventionellen Landwirtschaft führen: Dies darf nicht zu nachteiligen Folgen für unsere Gewässer, das Grundwasser, den Boden und die darin lebenden Organismen führen.

### Klimaanpassung:

Die größte Herausforderung für die Landwirtschaft liegt in der erwarteten Zunahme an Extremereignissen und Klimavariabilitäten, die zuverlässige Ertragsentwicklungen erschweren. Simulationen mit globalen Klimamodellen zeigen zudem, dass viele heutige Kulturpflanzen der nördlichen Hemisphäre weiter nach Norden wandern werden. Für unsere Landwirtschaft bedeutet das:

- weiter aktiv zu forschen
- Maßnahmen zu entwickeln zur Anpassung an steigende Temperaturen, abnehmende Niederschläge sowie an Wetterextreme um Ertragsverluste zu verringern und
- alternative Wege zu beschreiten für ökologisch und gesundheitlich unbedenkliche Produkte.

### Zum Beispiel durch:

- geänderte Saat- und Pflanzzeiten
- Züchtung angepasster Sorten: neue Kultur- und Futterpflanzen, die trockenheits- und hitzeresistent sind
- Anlegen von Windschutzstreifen
- Anlegen von Hagel- und Kulturschutznetzen und Regenschutzüberdachungen im Obst-, Garten- und Gemüsebau
- neue standortangepasste Anbaumethoden und -systeme wie Fruchtfolgen mit trocken-toleranten Sorten von Getreide und Ölpflanzen etc.
- wassersparende und erosionsmindernde Anbaumethoden
- wassersparende Beregnungsverfahren
- nachhaltige Pflanzenernährung und Düngung (z.B. über Injektions- und Blattdüngung)
- angepasste Stallbauten, Viehhaltungs- und Hygieneverfahren
- spezielle Beratungsangebote für Landwirte.

### Konfliktpotenziale:

Die klimatischen Veränderungen haben nicht nur ökologische und wirtschaftliche Konsequenzen. Die Folgen für unsere Gesundheit sind nicht zu unterschätzen, verbessert eine weltweite Erhöhung von Temperatur und Feuchtigkeit doch die Lebensbedingungen und Ausbreitung der meisten Krankheitserreger.

Mittlerweile kann man auch in Deutschland eine Zunahme von übertragbaren Infektionskrankheiten belegen, deren Ursache in der Verschiebung der Klimazonen liegt.

Mit dem Anstieg der Temperaturen und der Zunahme so genannter tropischer Nächte (nächtliche Temperaturen über 20 °C) steigt die Gefahr der Ausbreitung tropischer Krankheiten: Malaria, Dengue-Fieber ... Die Überträger: Mücken! Anopheles- und Sandmücke aus Afrika, Tigermücke aus Asien.

Das frühere Einsetzen des Frühjahrs, der spätere Winterbeginn und die milderen Winter begünstigen auch die Überlebenschancen von Zecken und ihren Wirtstieren, wodurch die durch Zecken übertragene Lyme-Borreliose auf dem Vormarsch ist. Ab 7 °C gehen Zecken auf Wirtssuche. Mücken und Zecken, die als Vektor-Organismen bezeichnet werden, haben eines gemeinsam: da sie ihre Körpertemperatur nicht selbst regeln hängt die Reproduktion vom Klima ab. Im unteren Bereich liegt die Reproduktionstemperatur zwischen 14 – 18 °C, im oberen zwischen 35 – 40 °C.

Hinzu kommen vermehrt hitzebedingte Herz-Kreislauf-Erkrankungen (mit Hitzekollaps bis Hitzeschlag), von denen insbesondere Kleinkinder, ältere Menschen und Personen mit Vorerkrankungen betroffen sind. Sozial benachteiligte Bevölkerungsgruppen sind ebenfalls stärker betroffen, da sie sich manche Hilfsmittel wie Klimaanlagen, Ventilatoren etc. nicht leisten können. An ausgeprägten Hitzetagen mit Windstille, hoher Luftfeuchte und intensiver Sonneneinstrahlung wird die höchste Sterberate erreicht. Wichtig: Unangepasstes Verhalten bei Hitzewellen kann auch bei gesunden Menschen zu einer Gefahr werden. Dazu gehören eine falsche Bekleidung, zu geringe Flüssigkeitsaufnahme, zu hohe körperliche Aktivität, Alkohol- oder Drogenkonsum.

## Viren und Bakterien auf Reisen!

### Die Auswirkungen auf unsere Gesundheit



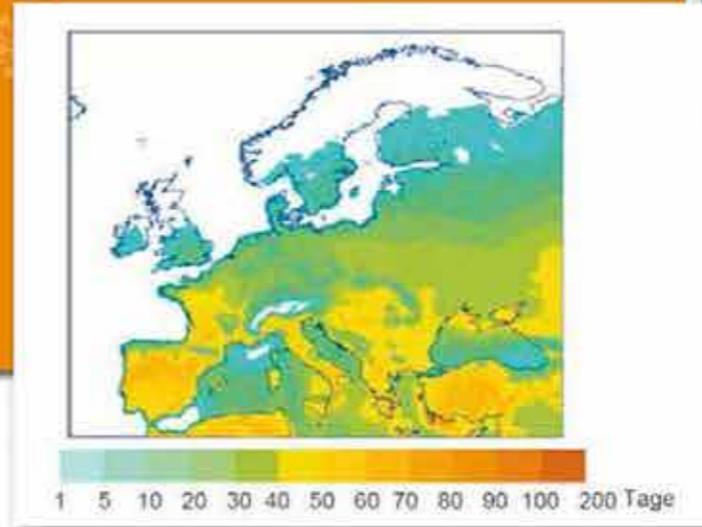
Einwirkungen auf den menschlichen Organismus bei Hitze

### KLIMAANPASSUNG:

Der gesunde menschliche Organismus ist in der Lage, mit veränderten Umweltbedingungen zurechtzukommen. Maßnahmen, die uns schon jetzt helfen können, mit den veränderten Klimabedingungen wie Hitzebelastungen im Hochsommer umzugehen und uns daran anzupassen, sind z. B.

- ☑ Warninstrumente wie Hitzewarnkarten des Deutschen Wetterdienstes, die über die Medien verbreitet werden ([www.dwd.de](http://www.dwd.de))
- ☑ Verhaltensmaßnahmen mit angepasstem Verhalten bei sommerlichen Hitzeereignissen und „Vorsorge durch Aufklärung“: So kann die Bevölkerung gezielt über den Umgang mit heißen Tagen, tropischen Nächten, der erhöhten Sonnenstrahlung informiert und sensibilisiert werden.
- ☑ verbesserte Dämmung und Kühlung durch möglichst energieeffiziente Klimaanlagen
- ☑ Sonnenschutzmaßnahmen für die Haut durch Kleidung, Kopfbedeckung, Sonnenschutzcreme.

Änderung der Anzahl der Tage mit  $T_{\text{max}} > 30^\circ\text{C}$ ; Vergleich 2071-2100 zu 1961-1990



Durch den Rückgang der Niederschläge im Sommerhalbjahr, veränderte Wetterbedingungen, eine verlängerte Pollensaison und die Ausbreitung von Pollen verbreitenden Pflanzen nimmt die Belastung der Luft mit Allergenen zu. Die Ausdünnung der natürlichen Ozonschicht in der Stratosphäre führt zu einer Erhöhung der UV-B-Strahlung auf der Erdoberfläche. Beim Menschen sind besonders die Haut und die Augen durch UV-B-Strahlen gefährdet. Die schwerwiegendste Spätfolge ist die Hautkrebs-erkrankung, der eine Veränderung des genetischen Materials in den



Hautzellen zugrunde liegt. Ein Grund für die zunehmende Zahl der Hautkrebs-erkrankungen liegt im veränderten Schönheitsideal und Freizeitverhalten. Schließlich gilt gebräunte Haut immer noch als schön und als Zeichen von Gesundheit. Entsprechend setzen sich viele Menschen übermäßig direkter Sonnenstrahlung und UV-Bestrahlung in Solarien aus. Auch die Sicherheit von Lebensmitteln und Medikamenten kann in einem wärmeren Klima herabgesetzt sein.

# Ab in den Norden!

## Neue Ideen braucht das Land

## Die Entwicklung des Tourismus

**Konfliktpotenziale:** Das Bedürfnis nach Freizeit und Erholung wächst in unserer Gesellschaft von Jahr zu Jahr. Wir reisen häufiger und kürzer, dafür aber oft nicht mehr ganz so weit. Naherholung ist wieder gefragt – im Sommer und Winter. Sachsen ist dabei eines der beliebtesten Kurzreiseziele Deutschlands. Doch warum verreisen wir? Die Gründe sind verschieden: Manche lockt die Schönheit und der Reiz der Landschaft, andere suchen Erholung oder kulturelle Attraktionen.

Sachsen als Urlaubs- und Ausflugsland hat für jeden etwas zu bieten, egal ob Bildungs-, Erholungs-, Abenteuer-, Sport- oder Rucksackreise! Beliebt sind reizvolle Landschaften wie National- und Naturparke, Biosphärenreservate, kulturhistorisch geprägte Gebiete und Städte: die Sächsische Schweiz, das Erzgebirge, das Leipziger Neuseenland, Städte wie Dresden, Leipzig und Görlitz.

Gerade das Erzgebirge lebt vom Tourismus, neben dem Wandertourismus vor allem vom Wintersport. Galt doch immer: Erzgebirge + Winter = Schnee. In Zukunft wird es im Winter aber möglicherweise häufiger regnen statt schneien. Und es gibt weniger Frost- und Eistage. Den Klimaprojektionen zufolge werden bis zum Jahr 2050 nur noch Skigebiete über 1.500–1.600 Meter über Normalnull schneesicher sein. Auch die künstliche Beschneidung wird an ihre Grenzen stoßen, wenn es für die Erzeugung von Kunstschnee mittels Schneekanonen einfach zu warm sein wird.

**EINE ABSOLUTE SCHNEEGARANTIE FÜR DEN WINTERSPORT TOURISMUS GIBT ES NICHT MEHR.**

## Die Tourismusverbände vor Ort müssen also darüber nachdenken:

- ☑ Welche Alternativen gibt es für den Wintersport im Erzgebirge?
- ☑ Wie kann man die Gäste mit attraktiven Angeboten (gerade bei Schneearmut/-wegfall) locken und so eine ähnliche Wertschöpfung erreichen wie mit dem Wintersporttourismus?
- ☑ Außerdem wird das Erzgebirge mit einem erhöhten Risiko von Überschwemmungen, Berggrutschen, Windwürfen sowie Hitze- und Trockenstress zu kämpfen haben.

**Klimaanpassung:** Die Tourismusbranche in Sachsen reagiert auf die Klimaänderung. So soll beispielsweise im Erzgebirge durch technische Schneeerzeugung die Sicherung der Skisaison erfolgen. In der kalten Jahreszeit werden zudem verstärkt Aktivitäten angeboten, für die kein Schnee nötig ist, z. B. Wellness-Angebote, geführte Wanderungen, sportliche Aktivitäten wie Nordic Walking, Jogging- und Radtouren sowie gastronomische und kulturelle Angebote.



# Hot summer nights

## Konfliktpotenziale:

Kommunen stehen heute vor zwei Herausforderungen: Klimaschutz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Denn gerade in den städtischen Gebieten mit ihrer hohen Bevölkerungs- und Bebauungsdichte sind einige Folgen des Klimawandels noch deutlicher zu spüren. Schon heute liegen die durchschnittlichen Temperaturen in Städten höher als im Umland.

Die typischen Eigenschaften und Probleme des Stadtklimas verstärken sich noch durch den Klimawandel: Wärmeinseln, Windfelder, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Luftqualität. Stärker als andere Gebiete werden unsere Städte von den steigenden Temperaturen und den zunehmenden Wetterextremen betroffen sein.

Gerade die Sommer in Städten können tagsüber – und nachts – eine ziemlich heiße Sache sein. Die tagsüber von Gebäuden, Straßen, Plätzen absorbierte Sonnenstrahlung dringt auch in die Baukörper ein. Die abendliche Abkühlung lässt durch den mangelnden Abtransport von überwärmter Luft und Schadstoffen und teils fehlenden Frischluftschneisen auf sich warten; ebenso wie die kühlende Verdunstung, da feuchte Bodenflächen Mangelware sind. Nach Sonnenuntergang kann der Temperaturunterschied zwischen Innenstadt und Umland 10 Grad und mehr betragen! Die Folgen: gesundheitliche, thermische, luft- und wasserhygienische Belastungen, Auswirkungen auf Systeme und Anlagen der Trinkwasserversorgung und steigender Wasserbedarf zur Unterhaltung von Grünanlagen.

## Klimaanpassung:

Es gibt kurz-, mittel- und langfristig umzusetzende Maßnahmen. Mehr Grün in die Stadt (im Straßenraum, durch Dach- und Fassadenbegrünungen), Anlegen offener Wasserflächen, Flächenentsiegelungen und verbesserte Versickerungsmöglichkeiten sind kurzfristig umsetzbar. Veränderungen im Gebäudedesign und der Einsatz geeigneter Baumaterialien zählen zu den mittelfristigen Maßnahmen, während der nachhaltige Stadtumbau mit einer ausreichenden Freiraumplanung eine langfristige Maßnahme ist, die jedoch heute schon beginnen muss.



## Ökologische Merkmale einer Stadt im Vergleich zur ländlichen Umgebung:

Bewölkung:	+ 5-10 %
Jahresniederschlag:	+ 5-10 %
Relative Luftfeuchtigkeit:	- 6 %
Windgeschwindigkeit:	- 20-30 %
Dauer der Frostperiode:	- 25 %
Frost- und Eistage:	- 45 %
Tauniederschlag:	- 65 %

Gründe für die stadtklimatischen Besonderheiten liegen in der Baustruktur und Flächenversiegelung, im geringen Vegetationsbestand und der Vielzahl unterschiedlicher Emittenten (Verkehr, Hausbrand, Industrie, Gewerbe).

# KLIMAWANDEL

## Ein Experiment mit ungewissem Ausgang

Das Klima ändert sich – keine Frage! Doch was genau wird passieren?

Erleben wir eine gigantische Hitzewelle oder nur normale Klimaschwankungen?

Das hängt entscheidend vom Grad und der Geschwindigkeit des Klimawandels ab. Und: Die Folgen wirken sich unterschiedlich auf das Leben auf der Erde, die Ökosysteme und die Menschen aus: positiv und negativ. Auf alle Fälle sind die ersten Auswirkungen schon jetzt spürbar. Der Klimawandel ist deshalb eine der größten Herausforderungen, vor der wir stehen. Gerade der erwartete Anstieg des Meeresspiegels, die häufigen Hitzewellen, Überschwemmungen und die Ausbreitung von tropischen Krankheiten werden als Bedrohung empfunden.



### SCHON GEWUSST?

Der wichtigste Verursacher des vom Menschen gemachten Klimawandels sind die Treibhausgase. Sie werden – auch wenn wir jetzt schon etwas dagegen tun – weiter ansteigen. Ohne (Klima-)Schutzmaßnahmen, wie Vermeldungs- und Anpassungsstrategien, könnte sich die Kohlendioxidkonzentration (im Vergleich zum vorindustriellen Wert von 280 ppm) gegen Mitte dieses Jahrhunderts verdoppeln; bis Ende des 21. Jahrhunderts sogar bis auf 1 000 ppm ansteigen!

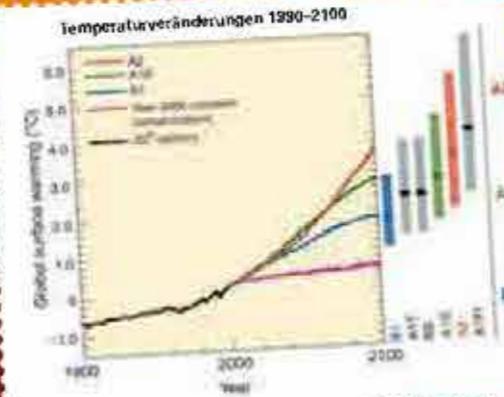
Alle bekannten Modelle und Analysen zeigen, dass sich das globale und somit auch regionale Klima – vor allem durch Temperaturanstieg – bereits verändert hat. Das beeinflusst verschiedene physikalische und biologische Systeme in vielen Teilen der Welt; meist negativ, vor allem weil Ökosysteme und Gesellschaft hochgradig an das vergangene Klima angepasst sind.

#### Vorboten der Auswirkungen des Klimawandels sind zum Beispiel:

- ☑ Die Gletscher schrumpfen.
- ☑ Permafrostböden tauen auf.
- ☑ Flüsse und Seen frieren später zu.
- ☑ Die Wachstumsperioden in mittleren und höheren Lagen verlängern sich.
- ☑ Pflanzen- und Tierarten dringen in Richtung der Pole und in höhere Lagen vor.
- ☑ Tier- und Pflanzen-Populationen sterben aus (Artenverlust), die Biodiversität geht verloren.

Einige Phänomene treten früher im Jahr auf: die Baumblüte, das Erscheinen von Insekten, das Laichen der Frösche, die Brutzeit von Vögeln. Es ist wahrscheinlich, dass sich diese und andere Folgen bei einer weiteren globalen Erwärmung verstärken werden. In welchem Ausmaß das geschieht, hängt von der künftigen Klimaentwicklung ab – an die es sich mithilfe der Klimaprojektionen anpassen gilt.

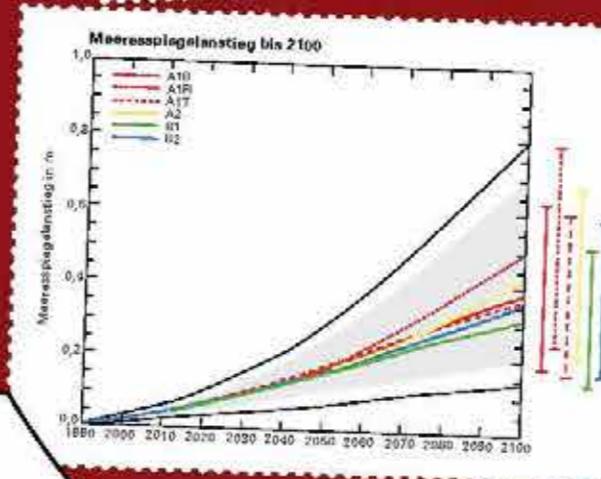
## Auswirkungen des Klimawandels auf Mensch und Umwelt



### Erderwärmung

Für den Zeitraum 1990 bis 2100 prognostiziert das IPCC<sup>1</sup> eine Erderwärmung von 1,1 bis 6,4 Grad im globalen Mittel, je nachdem, welches Szenario zugrunde gelegt wurde. Diese Werte sind 2- bis 10-mal so hoch wie die beobachtete Erwärmung während des 20. Jahrhunderts mit 0,8 Grad im globalen Mittel. Damit ändert sich die Temperatur mit einer Geschwindigkeit, wie sie in den letzten 10.000 Jahren nicht vorkam.

Obwohl wir von globaler Erwärmung sprechen, gibt es deutliche Unterschiede. So erwärmen sich die Kontinente schneller als die Ozeane. Wohl am stärksten ist die Arktis betroffen. Klimamodelle sagen voraus, dass sie am Ende des 21. Jahrhunderts im Sommer eisfrei sein wird. Zusätzlich werden – so die Prognose – durch die Erwärmung erdgebundener Kohlenstoff und Methan aus Permafrostgebieten freigesetzt: Die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre steigt weiter an!



### Extremereignisse

Prognostiziert werden ebenfalls häufigere, intensivere und regional unterschiedlich auftretende Extremereignisse wie Hitzewellen und Dürreperioden, Gewitter-, Hagel- und Starkniederschlagsereignisse, Tornados und tropische Wirbelstürme. Dadurch werden nicht nur Landwirtschaft, Industrie und Infrastruktur geschädigt – auch wir Menschen geraten in Gefahr. Ernte- und Viehzuchtverluste, Wald- und Steppenbrände, erhöhtes Überflutungsrisiko, Ausbreitung von Krankheiten und schlechtere Wasserqualität kommen noch dazu.

<sup>1</sup>IPCC: Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimawandel (Intergovernmental Panel on Climate Change)

## Der Meeresspiegel steigt ...

### MÖGLICHE URSACHEN

- ... Hebung oder Absenkung der Erdkruste,
- ... verstärkte oder verminderte Sedimentation in Becken
- ... plattentektonische und klimatische Prozesse



#### NACHGEFRAGT:

Das Abschmelzen von Gletschern und Eiskappen ist begrenzt. Das Volumen der Gletscher und Eisschilde auf der Erde beträgt 260 000 km<sup>3</sup>. Wie viel in potentiellstem Meeresspiegelanstieg entspricht das?

Manche dieser Ereignisse treten periodisch auf, andere sind nur regional zu beobachten – doch das Klima hat globale Auswirkungen. Hauptauslöser für den Meeresspiegelanstieg ist die thermale Ausdehnung der Ozeane durch die globale Temperaturzunahme von (bisher) 0,8 °C. Erst an zweiter Stelle steht das Schmelzen der Gletscher und Eisschilde. Bei Erwärmung des Meerwassers nimmt die Dichte ab, das Volumen bei gleicher Masse zu. Hatten Pegelmessungen für die letzten 100 Jahre einen Wert von 1-2 mm Anstieg pro Jahr ergeben (was einer Erhöhung des Meeresspiegels von 12–22 cm für das 20. Jahrhundert entspricht), so lag er nach neueren Satellitendaten zwischen 1993 und 2003 bei 3,1 cm pro Jahrzehnt. Während die höchsten Anstiegsraten mit über 10 mm pro Jahr im westlichen Pazifik und östlichen Indischen Ozean liegen, fiel der Meeres-

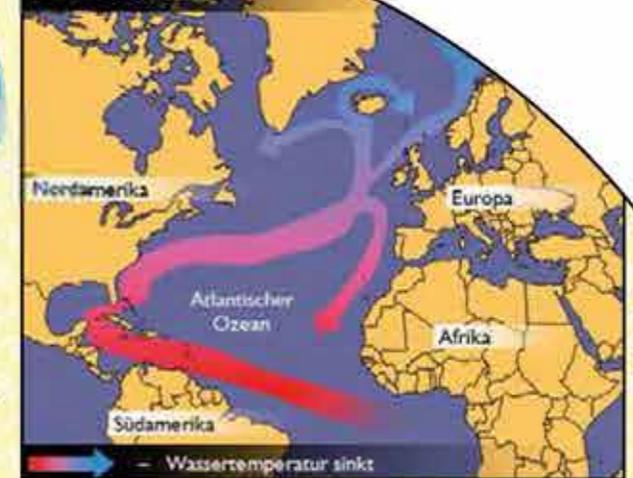
spiegel im östlichen Pazifik und westlichen Indischen Ozean um bis zu 5 mm pro Jahr; nahezu im gesamten Atlantik erfolgte ein mittlerer Anstieg von ca. 2 mm pro Jahr.

Die Ausdehnung des Wasserkörpers der Ozeane wird auch im 21. Jahrhundert der dominante Faktor sein für den Anstieg des Meeresspiegels. Bei gleichbleibendem Verhältnis von Temperatur- und Meeresspiegelanstieg über die nächsten Jahrzehnte ist mit einer Erhöhung um 0,5 - 1,2 m zu rechnen; am stärksten u.a. im Atlantik (Verringerung der Dichte durch Süßwasserzufuhr). Auch wenn die Aussagen mit großen Unsicherheiten behaftet sind, ist eins sicher: Einmal eingetretene Veränderungen werden sich über viele Jahrhunderte fortsetzen und den Meeresspiegel trotz stabilisierter Treibhausgaskonzentrationen weiter ansteigen lassen.

Nicht nur der steigende Meeresspiegel, auch Sturmfluten haben gravierende Auswirkungen: Siedlungen, Tourismus, Verfügbarkeit von Süßwasser, Fischerei, Infrastruktur und nicht zuletzt landwirtschaftliches Kulturland sind betroffen. Ohne Gegenmaßnahmen kommt es gerade in niedrig liegenden Küstenregionen und Deltagebieten als bevorzugten Siedlungsgebieten sowie küstennahen Feuchtgebieten zu erheblichen Land- (und Bevölkerungs-)verlusten. Viele kleine Inselstaaten (größtenteils Entwicklungsländer) würden vollständig versinken.

Die Mehrheit der durch Überflutung gefährdeten Bevölkerung konzentriert sich auf wenige Regionen: Westafrika, Ostafrika, Süd-, Südost und Ostasien. Am meisten muss sich die Bevölkerung der tropischen Inselstaaten in der Karibik, im Indischen, Atlantischen und Pazifischen Ozean fürchten. Auch Deutschland hat trotz des historisch weit zurückreichenden Küstenschutzes und der weitsichtigen Küstenplanung mit den Folgen des Meeresspiegelanstiegs zu kämpfen. Doch als entwickeltes Land haben wir bessere Möglichkeiten, diese Probleme zu lösen.

### Der Golfstrom



### EUROPAS ZENTRALHEIZUNG – DER GOLFSTROM

Ohne den Nordatlantikstrom, ein Teil des Golfstromsystems, wäre es bei uns um ca. 5 °C kälter. Wie sich dieser 5 °C-Unterschied auswirkt, zeigt der Blick über den Atlantik: In Kanada wachsen auf dem gleichen Breitengrad nur Moose und Flechten. Der Golfstrom befördert bis zu hundertmal mehr Wasser als alle Flüsse der Welt zusammengerechnet. Das entspricht einer Leistung von ungefähr einer Million Kernkraftwerken. Er transportiert gewaltige Wärmemengen in den Nordatlantik und funktioniert wie eine riesige Zentralheizung für Europa. Mit einer Geschwindigkeit von bis zu 2,5 Metern pro Sekunde ist der Golfstrom zudem eine der stärksten Meeresströmungen überhaupt.

Die Prognosen für unsere durch Temperatur und Salzgehalt angetriebene (sog. „thermohaline“) Zentralheizung besagen allerdings, dass sich die Zirkulation im Nordatlantik in den nächsten Jahrzehnten langsam abschwächen wird. Eine Abkühlung Nordeuropas ist aufgrund der gleichzeitig steigenden Globaltemperaturen jedoch nicht zu erwarten. Ein völliger Zusammenbruch der ozeanischen Zirkulation ist für das 21. Jahrhundert unwahrscheinlich. Für spätere Zeiten ist ein solches, möglicherweise auch nicht mehr umkehrbares (irreversibles) Ereignis nicht auszuschließen.

!!! DRINGEND!  
Suche Surfboard (auch  
gebraucht), biete  
Skateboard (wie neu).  
Angebote bitte per SMS.

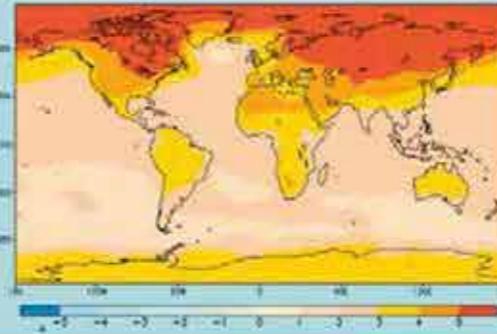
## Verschiebung der Klima- und Vegetationszonen

In den immerfeuchten Tropen, in den mittleren und hohen geographischen Breiten wird die Niederschlagsmenge zunehmen. In den Subtropen (insbesondere im Mittelmeergebiet) nimmt die Niederschlagsmenge ab. Dies hat Auswirkungen auf die jährlichen Abflussmengen der Flüsse. Die mittlere Dauer der Trockenperioden wird weltweit zunehmen, vor allem im Mittelmeergebiet, in Südafrika, in Australien. Die Gegensätze zwischen feuchten und trockenen Klimazonen vergrößern sich. Die bereits jetzt unter Wassermangel leidenden ariden und semiariden Gebiete werden noch trockener! Der Anteil der derzeit unter Wassermangel leidenden Weltbevölkerung erhöht sich: gegenwärtig 2,3 Mrd. Menschen. Etwa 5,2-6,8 Mrd. Menschen werden bis 2050 in Staaten wohnen, in denen es nicht ausreichend Trinkwasser gibt.

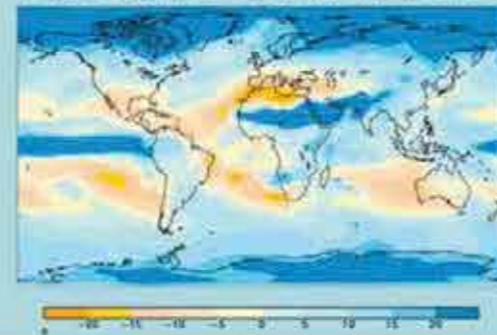
Pflanzliche und tierische Verbreitzonen verschieben sich nach Norden und in höhere Lagen. Gleichzeitig gehen viele wichtige Lebensräume verloren, Pflanzen- und Tierpopulationen drohen auszusterben – die Biodiversität verringert sich. Durch die rasche Erderwärmung und die Umverteilung der Niederschläge verschieben sich die Klima- und Vegetationszonen viel zu schnell. So schnell, dass die begrenzte (autonome) Anpassungsfähigkeit der natürlichen Ökosysteme überfordert ist und diese für Klimaänderungen deshalb besonders anfällig sind. Neben Gletschern und Korallenriffen zählen Mangrovenwälder, boreale und tropische Wälder, arktische und alpine Ökosysteme, Prärie-, Feuchtgebiete, Graslandschaften und Zonen besonders hoher biologischer Vielfalt dazu.

Viele Klimamodelle weisen auf dramatische Veränderungen bei den globalen und regionalen Niederschlägen hin, was zu einer Verschiebung der Klima- und Vegetationszonen führt.

**Regionale Temperaturveränderungen bis 2100 nach dem A2-Szenario**  
Die farbigen Flächen zeigen die Veränderung der jährlichen Mitteltemperatur der Periode 2071–2100 gegenüber der Periode 1951–1999 nach dem Szenario A2 in °C



**Regionale Niederschlagsveränderungen bis 2100 nach dem A2-Szenario**  
Die farbigen Flächen zeigen die Veränderung der jährlichen Niederschläge der Periode 2071–2100 gegenüber der Periode 1951–1999 nach dem Szenario A2 in %



Besonders anfällig sind die „kalten“ Ökosysteme in alpinen Bereichen und hohen geographischen Breiten. Statt Taiga, Tundra, polare Eisfelder gäbe es Laubwälder der kühl-gemäßigten Zone, in Regionen höherer geographischer Breite ertragreiche Äcker, Weiden. Die Kehrseite der Medaille: Landwirtschaft wird in anderen Gebieten durch geringere Niederschläge unmöglich. Die mögliche Folge: Hungerkatastrophen.

## Schöne neue Treibhauswelt?

### FAKT IST:

**1** Viele Regionen der Erde werden durch den Klimawandel nachteilig beeinflusst: Ökosysteme, Landwirtschaft, Siedlungsstrukturen sind an das heutige Klima angepasst. Am stärksten sind Bevölkerungsgruppen und Regionen betroffen, die zu den ärmsten Ländern gehören, aber fast keine historische Verantwortung als Problemverursacher tragen. Migration, Flucht als Folge: Geschätzt wird, dass bis 2050 mindestens 200 Mio. Menschen ihre Heimat aufgrund der Klimaänderungen verlassen müssen, um zu überleben.

**2** Durch die Reduktion von Treibhausgasen können Geschwindigkeit und Ausmaß der Erwärmung sowie des Meeresspiegelanstiegs vermindert werden. Aufgrund der thermischen Expansion werden Meeresspiegel und Eisschilde aber noch Jahrhunderte nach einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen auf die Erwärmung reagieren.

### Gewinner und Verlierer: die Folgen des Klimawandels in Europa

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Europa werden regional unterschiedlich sein. Im Süden Europas wird das Wasser knapp, der Boden zu trocken, und die landwirtschaftliche Produktivität nimmt ab. Für Nordeuropa werden bei geringer Erwärmung steigende landwirtschaftliche Erträge erwartet, bei größeren Temperaturanstiegen jedoch ebenfalls sinkende Erträge. Das Risiko von Überflutungen steigt für weite Teile Europas, insbesondere für Küstenregionen. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts könnte die Hälfte der alpinen Gletscher verschwinden.

### AUFGEBEN ODER ANPACKEN?

#### WAS IST ZU TUN?

Noch sind wir nicht ausreichend auf den Klimawandel vorbereitet: Das zeigen die gegenwärtigen strukturellen und finanziellen Möglichkeiten der gefährdeten Länder. Schon heute betragen die volkswirtschaftlichen Schäden durch Naturkatastrophen bereits 110 Mrd. \$ pro Jahr. Tendenz eindeutig steigend, wenn wir nichts tun!

#### WIR MÜSSEN UNS ALSO FRAGEN:

- ☑ Welche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel sind nötig?
- ☑ Wer soll sie umsetzen und vor allem, bis wann?
- ☑ Was werden diese Maßnahmen kosten?

Die wichtigste Erkenntnis aus den Modellrechnungen: Wir können die Folgen der Klimaveränderungen auf ein für alle akzeptables Maß begrenzen, wenn wir

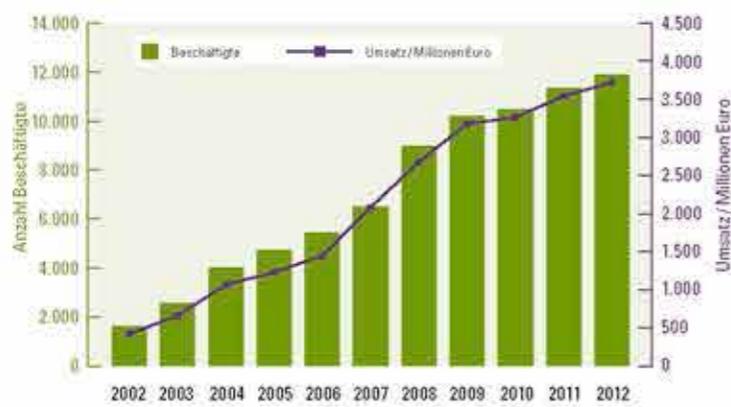
- ☑ die technischen und organisatorischen Möglichkeiten ausschöpfen,
- ☑ unser Verhalten (bewusst) ändern und
- ☑ gemeinsam – als eine Welt – handeln.

Ein **globales** Problem wie der Treibhauseffekt hat **lokale** Ursachen, und für die sind wir alle mitverantwortlich.



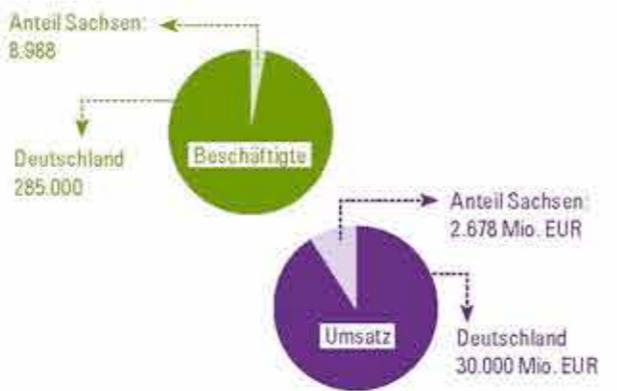


Alle Aktivitäten müssen darauf gerichtet werden, die CO<sub>2</sub>-Emissionen dauerhaft zu senken. Zugleich müssen ALLE über den sparsameren Umgang mit der kostbaren Energie nachdenken. Tragende Säulen zur Emissionsreduktion klimarelevanter Gase sind in Sachsen die erneuerbaren Energien, die Erhöhung der Energieeffizienz und Energieeinsparungen.



Entwicklung des Wirtschaftssektors erneuerbare Energien in Sachsen mit Prognose bis 2012

Im Vergleich zur gesamten Bundesrepublik Deutschland (Stand 2008):



### Klimaschutz - Wirtschaftsmotor der nächsten Jahrzehnte

Die Klimaschutzpolitik Sachsens dient nicht nur der Umwelt- und Klimaschutzvorsorge. Mit der Schwerpunktsetzung auf erneuerbare Energien schafft sie zusätzlich Arbeitsplätze und verbessert die Wettbewerbschancen sächsischer Unternehmen. Diese setzen mit erneuerbaren Energien im Jahr 2008 nicht nur rund 2,7 Mrd. Euro um, die Zukunftsbranche sichert derzeit auch über 9.000 direkte und indirekte Ar-

beitsplätze in Sachsen. Tendenz steigend – wie die Prognosen zeigen!

Derzeit ist in Sachsen die Hälfte der Beschäftigten in der Photovoltaik tätig. Die übrigen Beschäftigten verteilen sich auf die Bereiche Windenergie und Biomasse (Während in der Bundesrepublik Photovoltaik, Biomasse und Windenergie jeweils etwa ein Drittel der Beschäftigten stellt.)

## Erneuerbare Energien Der Name ist Programm!

### SOLARENERGIE:

Jedes Jahr liefert die Solarstrahlung etwa das 7.000-fache des heutigen weltweiten Energieverbrauchs. In Sachsen beträgt die Sonneneinstrahlung jährlich ca. 1.000 kWh/m<sup>2</sup> und liefert damit auf 1 m<sup>2</sup> soviel Energie, wie in 100 Liter Heizöl enthalten ist. Prinzip Solarthermie: Eine Flüssigkeit wird in einem Solarkollektor erhitzt. Ein schwarz gefärbtes Absorbermaterial nimmt die Wärme auf und leitet sie an die Flüssigkeit weiter, ähnlich wie bei einem schwarzen Wasserschlauch, der lange in der Sonne liegt. Dagegen erzeugen Solarzellen (Gleich-)Strom aus Sonnenlicht (= Photovoltaik). Herzstück ist ein meist aus Silizium bestehender Halbleiter, der Licht direkt in elektrischen Strom umwandelt. Sonnenkollektoren und Solarzellen werden an südlich ausgerichteten Haus- oder Garagendächern angebracht.

### GEOTHERMIE/ERDWÄRME:

Geothermie basiert nur bei einer oberflächennahen Nutzung auf Sonnenenergie. Wichtiger ist die Erdwärme. Zur gezielten Nutzung wird ein Medium (v. a. Wasser, auch Gemische aus Wasser + Ammoniak) in wärmeleitende Schichten befördert und dort durch die Erdwärme erhitzt. Wieder an der Erdoberfläche angekommen, gibt das Medium die gespeicherte Energie zur Wärmenutzung oder Stromgewinnung ab und kann erneut verwendet werden. Ein umweltfreundlicher Kreislauf entsteht.

### Let the sunshine in!

Die Sonne ist unser wichtigster Energielieferant. Sie ist die Quelle aller erneuerbaren Energien – mit Ausnahme der Tiefen-Geothermie.

### WASSERKRAFT:

Schon seit 2.000 Jahren nutzen wir die Wasserkraft, um Mühlen und Pumpen anzutreiben. Heute wird in modernen Wasserkraftanlagen mithilfe mächtiger Turbinen Strom erzeugt. Speicherkraftwerke nutzen das hohe Gefälle und die Speicherkapazität von Talsperren und Bergseen; Laufwasserkraftwerke die Strömung von Flüssen und Kanälen. Der Wirkungsgrad der Energieumwandlung liegt bei über 90%.

### BIOMASSE:

Holz ist unsere älteste Energiequelle. Pflanzen und Bäume speichern durch Photosynthese Kohlenstoff, produzieren Sauerstoff und wachsen wieder nach (= nachwachsender Rohstoff).

Die Verbrennung ist klimafreundlich, denn es wird nur so viel CO<sub>2</sub> frei wie die Pflanze vorher aufgenommen hat. Moderne Verbrennungsanlagen bieten den gleichen Komfort wie Öl- oder Gaskessel. Wird z.B. Gülle anaerob vergärt, entsteht Biogas, das in Strom und Wärme umgewandelt werden kann. Mit Rapsdiesel gibt's sogar Biomasse im Tank!

### WINDKRAFT:

Die alte Idee der Windmühle erlebt in den modernen Windenergieanlagen ein Comeback. Immer noch gilt: Je stärker und konstanter der Wind weht, desto mehr Strom wird erzeugt. Die typische Leistung einer Anlage beträgt etwa 2 Megawatt (MW), was ausreicht, um bis zu 2.000 Haushalte im Jahr mit Energie zu versorgen. An günstigen Standorten (bei ca. 1,5 MW) können so in 20 Betriebsjahren rund 76 Mio. kWh Strom erzeugt werden – so viel, wie ein modernes Braunkohlekraftwerk durch die Verbrennung von ca. 84.000 t Braunkohle liefert. 2009 drehten sich in Sachsen 800 Windräder!

# Ein unendlicher Kreislauf Sachsens erneuerbare Energien

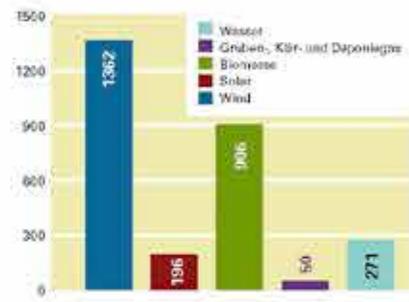
Zentrale Instrumente zum Ausbau der erneuerbaren Energien sind das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG = Erneuerbare Energien Gesetz), Förderprogramme der Bundesregierung und des Freistaates Sachsen sowie seit 2009 das Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG = Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz). Damit werden die Erneuerbaren sowohl zur Stromerzeugung als auch zur Wärmeerzeugung eingesetzt.

## Strom aus Erneuerbaren

Im Jahr 2009 wurden 14,1% des sächsischen Stromverbrauchs durch Windkraft, Biomasse, Solarkraft, Wasser sowie Klär- und Deponiegas gedeckt. Die größten Anteile der Erträge kommen aus Wind und Biomasse. Bis 2020 soll sich der Stromanteil aus erneuerbaren Energien auf mindestens 24 % erhöhen.

Studien des Umweltbundesamtes (Juli 2010) und des Sachverständigenrates für Umweltfragen (Mai 2010) zeigen; bis zum Jahr 2050 ist in Europa ein Umbau des Elektrizitätssystems auf 100 % Erneuerbare Energien möglich; sicher und kostengünstig.

- www.uba.de/uba-info-medien/3997.html oder
- www.umweltrat.de (Rubrik Publikationen - Stellungnahmen)



Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch in Sachsen



SOLL / Ziel



Biomasse ist der vielseitigste erneuerbare Energieträger, der in fester, flüssiger oder gasförmiger Form zum Heizen, zur Stromerzeugung und als Kraftstoff eingesetzt wird. Unterschieden wird zwischen organischem Abfall wie Gülle, Bioabfälle und nachwachsenden Rohstoffen, zu denen Holz gehört (aber auch nur, wenn nach der Fällung Wiederaufforstung stattfindet).

## Energie aus Biomasse

**HOLZ** wird seit Jahrtausenden von den Menschen zur Wärmeerzeugung verwendet. Moderne Holzheizungen sind angesichts steigender Heizöl- und Gaspreise daher eine echte Alternative und auch in Sachsen weiter im Kommen. Richtiges Heizen mit Scheitholz, naturbelassenem Restholz, Holzpellets oder Holzhackschnitzeln ist nicht nur umweltschonend, sondern auch günstig.

Auch **STROH** spielt eine wichtige Rolle: Ein Strohballen von etwa 1,80 Meter Durchmesser setzt die gleiche Energie frei wie 110 Liter Heizöl. Und da die sächsischen Landwirte jedes Jahr rund ein Drittel ihres Strohs abgeben könnten, stehen in Sachsen etwa eine Million Tonnen Stroh zur Energiegewinnung bereit.

## „Null Problemo“ mit den Erneuerbaren?

Auch erneuerbare Energienutzung ist nicht vollkommen konfliktfrei: Lärm, Landschaftsschutz, Vogelflug bei Windenergienutzung oder Einbindung von Solarenergie in denkmalgeschützte Gebäude oder ....

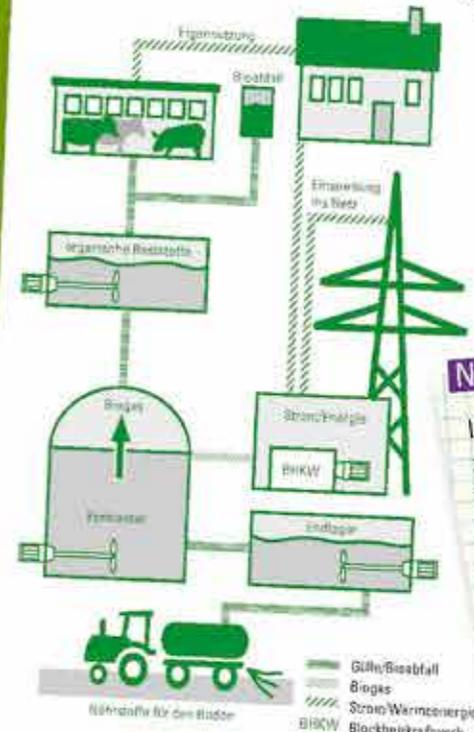
Aber erst durch sie wird ein verantwortungsvoller Umgang mit den knappen fossilen Ressourcen der Erde möglich, kann eine lebenswerte Umwelt erhalten werden. Denn erneuerbar heißt, dass wir diese Energien nicht verbrauchen können und sie weltweit in ausreichender Menge zur Verfügung stehen.

## Auf den Punkt gebracht - Stärken und Schwächen der Erneuerbaren

- nahezu unbegrenzte Energievorräte
- keine oder geringe Schadstoffemissionen
- dezentrale Versorgung möglich
- Schonung fossiler Ressourcen (Öl, Kohle, Erdgas)

**Fakt ist:** Solarthermie, Windstrom, Photovoltaik und Biomasse sind heute schon die Trumptechnologien auf dem Zukunftsweg zu einer Solargesellschaft.

Schema einer Biogasanlage



## Nachgefragt!

Ist es uns erlaubt, Pflanzen oder Ackerflächen für die Erzeugung von Energie zu nutzen, während zugleich noch immer viele Menschen weltweit hungern? Diese ethische Frage wird durchaus kontrovers in der Öffentlichkeit diskutiert.

## Wie viel CO<sub>2</sub> darf es denn sein?

Um die Treibhausgas-Emissionen zu senken, haben sich EU und Bundesregierung einiges einfallen lassen: Solarzellen werden vom Staat durch die Einspeisevergütung gefördert, es gibt zinsgünstige Kredite für Sanierung und Neubau, Energieausweise wurden

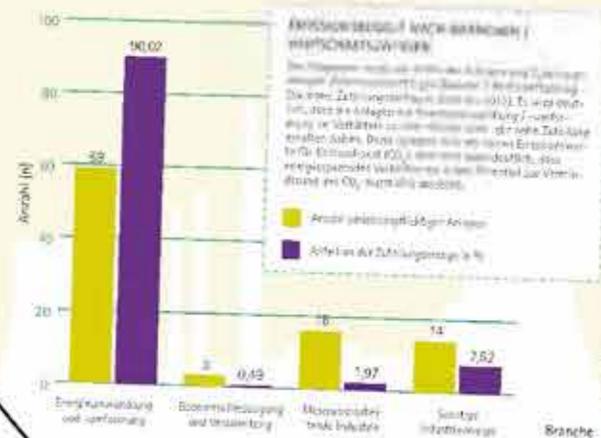
eingeführt, öffentliche Energie-Beratungsstellen eingerichtet, Biokraftstoffe und neue effiziente Technologien werden gefördert.

Mit Beginn des Jahres 2005 wurde in Europa der Handel mit Emissionsrechten für das Treibhausgas CO<sub>2</sub> eingeführt.

### Treibhausgas-Emissionshandel: Ein Instrument des Kyoto-Protokolls

**Die Idee:** Das Emissionshandelssystem schafft eine wirtschaftliche Basis, um den Ausstoß von CO<sub>2</sub> dort zu reduzieren, wo es am kostengünstigsten ist. Das betrifft zunächst alle Feuerungsanlagen (Kraftwerke) mit einer Feuerungswärmeleistung über 20 Megawatt und größere emissionsintensive Produktionsanlagen (Chemiefirmen, Stahlwerke, Papierfabriken), die am Emissionshandel teilnehmen müssen.

**Das Prinzip:** Den Betreibern der Anlagen (2.400 in Deutschland) werden Emissionszertifikate zugeteilt, die sie zum Ausstoß einer genau festgelegten Menge CO<sub>2</sub> berechtigen. Wird mehr CO<sub>2</sub> emittiert, müssen Emissionsrechte (=zusätzliche Zertifikate) zugekauft oder Investitionen zur Emissionsminderung getätigt werden. Umgekehrt ermöglicht eine Reduzierung der Emissionen, die überzähligen Berechtigungen zu verkaufen und so Gewinn zu erwirtschaften.



Emissionen werden also wie Wertpapiere an der Börse gehandelt. Jedes Jahr bekommen die Anlagen weniger Zertifikate zugeteilt, ein Anreiz saubere Technologien einzubauen. Die Leipziger Strombörse „European Energy Exchange“ EEX ist deutschlandweit die einzige Börse, die im Auftrag der Bundesregierung die Treibhausgas-Emissionsberechtigungen versteigern darf.

Für Sachsens 92 emissionshandelspflichtige Anlagen betrug das zugeteilte Emissionsbudget 2005 – 2007 noch 99,45 Mio. t CO<sub>2</sub>. Von 2008 – 2012 (aktuelle Emissionshandelsperiode) beträgt es jährlich rund 23,5 Milo. t CO<sub>2</sub>, 60 % der sächsischen Anlagen dienen der Energieumwandlung, verursachen aber mit über 90 % den Löwenanteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

**saena**  
Sächsische Energieagentur GmbH



## POWER-PARTNER IM BEREICH ENERGIE UND KLIMASCHUTZ

Dafür, dass gute Ideen die Menschen erreichen – so könnte die kürzeste Antwort auf die Frage lauten, wofür die Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH eingerichtet wurde. Seit 2007 setzt sie die Energie- und Klimaschutzpolitik Sachsens erfolgreich in die Praxis um. Die SAENA ist nicht nur professioneller und unabhängiger Ansprechpartner für alle sächsischen Unternehmen und Gemeinden, sondern berät auch Schulen und private Haushalte, vor allem zu Fragen nach

Neben der Entwicklung innovativer Energietechnologien zeigt die SAENA Wege auf, mit dem wertvollen Gut Energie effizient und sparsam umzugehen - ohne Komfortverlust.

Kurzum: Aufgabe der SAENA ist es konkrete Strategien zum Klimaschutz und einer zukunftsfähigen Energieversorgung in Sachsen zu entwickeln und umzusetzen. Dies geht Hand in Hand mit der sächsischen Klimaschutzpolitik, niedergeschrieben z.B. im Energie- und Klimaprogramm.

- ☑ einer zukunftsfähigen Energieversorgung mit all ihren Chancen, Potentialen und Risiken
- ☑ Möglichkeiten effizienter Energienutzung und
- ☑ dem Einsatz erneuerbarer Energien.

### Aus- und Weiterbildung

#### Investition in eine lebenswerte Zukunft

Anpassung an den Klimawandel ist ein fortlaufender Prozess, der auch berufliches Fach-Wissen erfordert. Wer gute Ideen und konkrete Lösungen einbringen und umsetzen will, muss sich weiterBILDEN; nach Verbesserungsmöglichkeiten suchen, neues Wissen integrieren - insbesondere zu neuen Technologien und dem sinnvollen Einsatz erneuerbarer Energien. Dafür hat die SAENA

- ☑ spezielle Weiterbildungsprogramme
- ☑ Kampagnen und
- ☑ speziell für Schulen intelligente Energiesparprojekte wie die Sächsische Energiesparwette entwickelt.



**WIR WETTEN, DASS...** unsere Schule ihren Strom- und Wärmeverbrauch über die nächsten drei Schuljahre um insgesamt 10-15 % gegenüber den vergangenen drei Jahren senken kann. Diese Energiesparwette bringt für alle teilnehmenden Schulen Sachsens bares Geld. Wie? Durch bewussten Umgang mit Energie. Die Schulen schließen zuerst mit ihrem Schulträger einen Einsparvertrag (= Energiesparwette) und gründen dann ein schulisches Energieteam.

# Ist das Klima noch zu retten?

Wie viel wärmer darf es werden, ohne dass die Auswirkungen des Klimawandels unumkehrbar, nicht mehr beherrschbar sind? Das Ergebnis der Wissenschaft: Ein Temperaturanstieg um nicht mehr als 2 Grad und eine CO<sub>2</sub>-Konzentration unter 450 ppm kann die Erde gerade noch verkraften. Um das zu erreichen, müssten sich die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 mehr als halbieren. Für die Industrieländer heißt das: bis 2050 nahezu CO<sub>2</sub>-frei wirtschaften und die Treibhausgasemissionen um 80-95 % gegenüber 1990 reduzieren. Viele Forscher sind recht optimistisch: Wenn wir auf erneuerbare Energien setzen und Energie effizient nutzen, ist das 2-Grad-Klimaziel erreichbar.

Aber wer wird nun die Welt retten? Die Wissenschaft, der Staat, die Wirtschaft oder doch jeder Einzelne? Und wer muss zuerst anfangen? Deutschland, die USA, China oder Indien oder doch am besten alle Länder auf einmal? Die Antwort: Alle zusammen! Denn nur ein gemeinsamer weltumfassender Klimaschutz wird am Ende erfolgreich sein; ganz nach dem Motto der Agenda 21: „Global denken – lokal handeln!“

## MINDERUNGSZIELE NACH DEM KYOTO-PROTOKOLL



<sup>1</sup> Gesamtziele innerhalb der EU sind die Emissionsminderungen nach Ländern differenziert.  
<sup>2</sup> Die USA haben ihre Unterschrift unter dem Kyoto-Protokoll zurückgezogen.

### Verminderung der Treibhausgase durch:

- nationale Reduzierung
- Emissionshandel
- partnerschaftliche Klimaschutzprojekte von Industrieländern mit und in Entwicklungsländern sowie mit anderen Industrieländern
- biologische CO<sub>2</sub>-Senken: z.B. (Wieder-)Aufforstung von Flächen...

## Klimaschutz geht alle an!

### Akteure auf der Klimabühne

#### Von Rio nach Kyoto

Das Protokoll von Kyoto ist wahrscheinlich das bekannteste Dokument zum weltweiten Klimaschutz (auch wenn dieses Vertragswerk mit einigen Schwachstellen behaftet ist). Doch wie kam es dazu, und vor allem, was steht drin? Auf dem Umweltgipfel 1992 in Rio de Janeiro unterzeichneten 166 Staaten die „Agenda 21“, eine völkerrechtliche Grundlage für den internationalen Klimaschutz (Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen). Im Dezember 1997 trafen sich dann zahlreiche Politiker im japanischen Kyoto zu einer

neuen Klimakonferenz, um das weitere Vorgehen zu besprechen. Die Vereinbarungen wurden im Kyoto-Protokoll festgehalten. Damit hat sich die Staatengemeinschaft zum ersten Mal auf verbindliche Ziele und erste Maßnahmen geeinigt. So wurden global Obergrenzen für die Emission der sechs wichtigsten Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H-FKW, FKW und SF<sub>6</sub>) festgelegt. Die Industrieländer verpflichteten sich ihrer historischen Verantwortung und versprachen, in der ersten Verpflichtungsperiode bis 2012 ihren Treibhausgas-Ausstoß um 5,2 % gegenüber 1990 zu reduzieren (die Entwicklungsländer sind problematischerweise zunächst ausgenommen).

8 Jahre vergingen, bevor das Kyoto-Protokoll von 55 Staaten unterschrieben wurde, die zusammen im Jahr 1990 für mindestens 55 % der Treibhausgas-Emissionen verantwortlich waren. Am 16. Februar 2005, 90 Tage nach der Ratifizierung Russlands, trat das Kyoto-Protokoll endlich verbindlich in Kraft.

Für die einzelnen Staaten gelten jedoch unterschiedliche Einsparziele: So muss die gesamte EU 8 % gegenüber dem Wert von 1990 einsparen. Die Last dieses Einsparzieles wurde auf die Mitgliedsstaaten unterschiedlich verteilt. Deutschland z. B., das 1990 genau 1.251.723 Mio. t Treibhausgase emittierte (v.a. CO<sub>2</sub>), strebt eine Senkung um 21 % an, Griechenland um 25 %, Großbritannien um 12,5 %, Schweden um 4 %, Polen um 6 %, Estland und die Slowakei um jeweils 8 %. Inzwischen sind 189 Staaten (Stand 2009) voll gültige Parteien des Protokolls: sind ihm entweder beigetreten, haben es ratifiziert oder ihm anderweitig formell zugestimmt. Die USA (einer der größten Hauptemittenten von Treibhausgasen) sind heute das einzige Industrieland, das kein völkerrechtlich verbindliches Mitglied des Kyoto-Protokolls ist.

### Wie geht es weiter?

Gegenwärtig wird über die Zukunft des Kyoto-Protokolls nach 2012 verhandelt. Durch die unzureichenden Reduktionsverpflichtungen steigen die Temperaturen nur um 0,1 °C weniger als ohne das Abkommen. Weitere große klimapolitische Schritte mit neuen Reduktionsverpflichtungen, neuen Allianzen und Technologien – ganz wichtig – einer gerechten sowie nachhaltigen Einbindung der Schwellen- und Entwicklungsländer müssen jetzt erfolgen. Denn selbst wenn die Industrieländer wirksameren Klimaschutz betreiben würden, die Zwei-Grad-Linie können sie nicht alleine halten!



Stand der Unterzeichnung und Ratifikation 2009  
grün: ratifiziert – rot: abgelehnt – grau: Position offen



## Klimapolitische Leitplanken mit Zukunft !?

**Der Mehrstufenansatz:** Alle Länder, auch die Schwellen- und Entwicklungsländer, sollen sich schrittweise mithilfe bestimmter Kriterien (Klimagasausstoß, Einkommen pro Kopf) an der Verringerung des Ausstoßes der Klimagase beteiligen.

☑ siehe Gutachten „Über Kyoto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert“  
www.wbgu.de/wbgu\_sn2003.pdf

Dezember 2009:

### WELTKLIMAGIPFEL IN KOPENHAGEN

„Kopenhagen-Vereinbarung“ (u.a. mit dem offiziellen Bekenntnis zum 2-Grad-Ziel). (Beschluss für verbindliches Klimaschutzabkommen ab 2013 wurde verfehlt)

November/Dezember 2010:

### UN-KLIMAKONFERENZ IN CANCUN/MEXIKO

Ziel: Beschluss der verbindlichen Nachfolgeregelung für das Kyoto-Protokoll ab 2013. Noch immer strittig: Umfang der Reduktionen, Einbindung der Schwellen- und Entwicklungsländer.

### Viele gute Gründe für aktiven Klimaschutz

**FAKT IST:** Klimaschutz führt zu weniger Luftverschmutzung, verringert Ressourcenkonflikte um Wasser und Öl. Durch erneuerbare Energien, kombiniert mit einer auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit ausgerichteten Politik, wird schon jetzt umgesetzt, was in Zukunft ohnehin nötig ist. Und: Wer mithilfe erneuerbarer Energien und kluger Politik moderne Systeme aufbaut, schont Umwelt und Klima, hilft Armut zu bekämpfen und fördert die wirtschaftliche Entwicklung – überall.

### The Silver Bullets –

Vorschläge zur großtechnischen Bewältigung des Klimaproblems

☑ Geologische Kohlenstoffspeicherung (Sequestrierung) einsetzbar: frühestens nach 2020

noch offen: Fragen der Wirtschaftlichkeit und Sicherheit ausführlich diskutiert vom IPCC: [www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_wholereport.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf)\*

☑ solarthermische Kraftwerke mit leistungsfähigem Stromverbund

☑ Geoengineering: Einsatz von Technologien in planetarischer Größenordnung: fantasievoll und vielversprechend – oder utopisch und sehr fragwürdig?

\* Das PDF könnt ihr auch bei Eurem Lehrerefragen.



populäre Vorschläge zur Bewältigung des Klimaproblems

## Deutschland Vorreiter im Klimaschutz

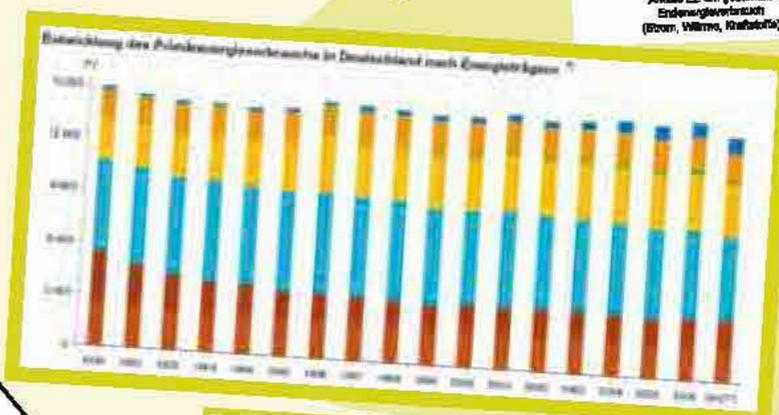
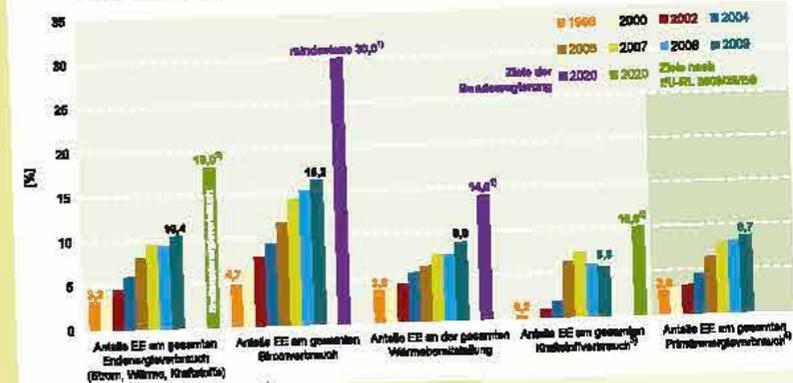
Nach dem derzeitigen Stand wird Deutschland sein Kyoto-Ziel (21%) deutlich übererfüllen: Bis Ende 2009 konnten die Treibhausgasemissionen bereits um 28,7 % gegenüber 1990 gesenkt werden. Weitere ehrgeizige Ziele sind: eine CO<sub>2</sub>-Reduktion um 40 % bis 2020 und um 80 % bis 2050, jeweils bezogen auf 1990. Zur Erreichung dieser Ziele verabschiedete die Bundesregierung 2000/2005 das Nationale Klimaschutzprogramm und 2007 das Integrierte Energie- und Klimaschutzprogramm (Meseberger Beschlüsse). Neben der ökologischen Steuerreform und dem Kraft-Wärme-

Kopplungs-Gesetz zählen vor allem Investitionen in eine verbesserte Energie-Effizienz und Energieeinsparung sowie der Einsatz erneuerbarer Energien dazu. Bis 2020 soll der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung mindestens 30 %, an der Wärmeerzeugung 14 % und am Endenergieverbrauch 18 % betragen. Bis 2050 sind sogar 100 % Energieversorgung durch die Erneuerbaren möglich, wie verschiedene Studien (u.a. Umweltbundesamt 2010) aufzeigen.

### Fakt ist:

Bei Windenergie und Wasserkraft, Solarenergie und Biomasse sind deutsche Unternehmen technologisch führend – in keinem anderen Land gibt es so viele Anlagen zur Erzeugung von Solarstrom und zur Nutzung von Windenergie wie bei uns. Trotzdem: Auch wir nutzen immer noch hauptsächlich Öl und Gas zur Erzeugung von Wärme und Treibstoffen. Die Stromerzeugung basiert in Deutschland überwiegend auf Braun- und Steinkohle sowie auf Kernenergie.

Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung von 1998 – 2009



Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland nach Energieträgern von 1990 – 2007. Der Anteil der Erneuerbaren am gesamten Primärenergieverbrauch lag 2007 bei 7,9 %, 2008 bei 8,1 % und 2009 bei 8,7 %.

\* Quellen: Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2009) vom 25.10.2009 und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) vom 7.8.2008.

\* Quelle: EU-Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch bzw. am EKV in Verkehrsbereich.

\* Der gesamte Verbrauch an Motorkraftstoff, ohne Flugbenzin.

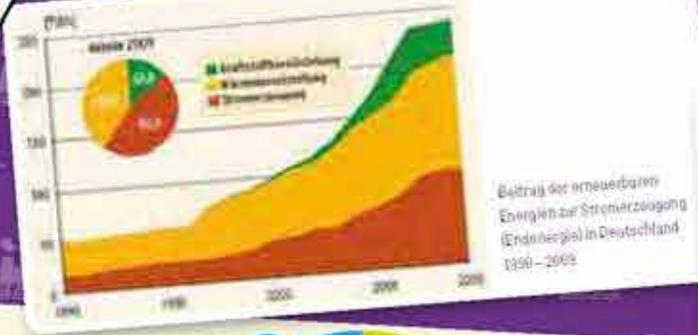
\* Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB)

EE: Erneuerbare Energien; Quelle: BMU-KI III 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat).

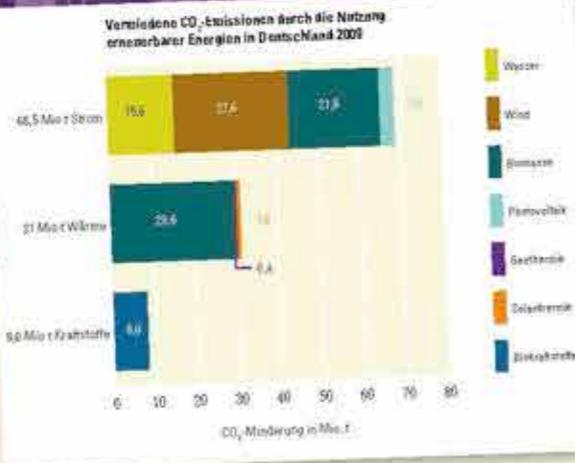
Bild: BMU / Brigitte Hiss, Stand: Juli 2010; Angaben vorläufig

### Positiv ist:

Die Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien hat sich auf 238 TWh im Jahr 2009 nahezu verdreifacht. Auch das Ziel der Bundesregierung, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung bis 2010 auf mindestens 12,5 % zu erhöhen, wurde bereits 2007 mit ca. 14 % überschritten. Bedeutende Beiträge zur Stromerzeugung leisten hier die Windenergie, der gesamte Bereich der Biomassennutzung und die Wasserkraft. Die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien erfolgt mit 94 % fast ausschließlich durch Biomasse (hauptsächlich Brennholz).



Durch die „Erneuerbaren“ konnten so im Jahr 2009 rund 108 Mio. t CO<sub>2</sub> vermieden werden.



### Energiefluss

Primärenergie ist die Energie, die z. B. in Kohle, Erdgas oder Erdöl ursprünglich enthalten ist. Durch Umwandlungsverluste (in Erdöl-Raffinerien, durch Stromproduktion, Transport) stehen nur ca. 65 % der in Deutschland eingesetzten Primärenergie den Verbrauchern als Endenergie zur Verfügung. Bei deren Nutzung für Heizung, Licht etc. treten weitere Verluste auf. Die Effizienz hat sich in den letzten Jahren jedoch verbessert. Etwa 15 % weniger Energie werden für die gleiche Wirtschaftsleistung benötigt als noch zu Beginn der 1990er Jahre.

Nicht nur große Fabriken und Kraftwerke emittieren Treibhausgase in die Luft, sondern auch jeder Haushalt, jedes Auto. Obwohl die deutsche Wirtschaft insgesamt gewachsen ist, konnte sie durch neue Technologien, politische Maßnahmen, den Emissionshandel ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß über 30 % gegenüber 1990 senken. Knapp ein Drittel des Energiebedarfs in Deutschland verursachen private Haushalte, die damit mehr Energie als die gesamte Industrie verbrauchen. Der Verkehr verursacht derzeit etwa ein Fünftel der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der Grund: Auf 82 Mio. Einwohner kommen rund 43 Mio. Pkw, womit Deutschland eines der höchstmotorisierten Länder der Welt ist.

Biomasseanteil \* rd. 32 %  
\* feste und flüssige Biomasse, Deponie- und Küorgas, biogener Anteil des Abfalls, Abweichungen in den Quellen durch Rundungen

## Lösungen mit Zukunft Technologien und Berufe für das 21. Jahrhundert



Energie ist aus unserem Leben nicht wegzudenken. Um die begrenzten fossilen Energierohstoffe zu schonen und den Ausstoß der Treibhausgase zu senken oder besser noch zu vermeiden, werden neue Energietechnologien entwickelt. Das hat viel mit Technik und spannenden Forschungsfragen zu tun.

### Ausgetretene Pfade verlassen - Neue Wege beschreiten

Derzeit ist Deutschland weltweit führend im Bereich neuer und erneuerbarer Energietechnologien. Das Erfolgsgeheimnis: Spitzenforschung. Neue klima-/umweltschonende Ideen, Ansätze und Visionen sind gefragt, um heute schon Investitionen in eine lebenswerte Zukunft zu tätigen. Forschungsförderschwerpunkte sind neben den erneuerbaren Energien beispielsweise Elektromobilität, energieoptimiertes Bauen, nachwachsende Rohstoffe, Brennstoffzellen.

Und die Ergebnisse können sich sehen lassen: Am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme konnte für die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom erstmals ein Wirkungsgrad von 41,1% erzielt werden - ein neuer Weltrekord! In Freiberg wird an der Entwicklung von BtL (biomass to liquid)-Kraftstoffen gearbeitet. Das sich über die Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen erstreckende Forschungsprojekt „Solarvalley Mitteldeutschland“ hat das Ziel Strom aus Photovoltaikanlagen wettbewerbsfähig zu machen und dieses Gebiet bis 2013 zur international führenden Photovoltaik-Region zu entwickeln.

So vielfältig wie die Technologien sind auch die Berufsbilder. Nach Untersuchungen des Umweltbundesamtes könnten bis zum Jahr 2020 etwa 630.000 Arbeitsplätze in Deutschland entstehen. Die rapide Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und anderer Treibhausgase sind dafür Anreiz und Motor. So werden im Baugewerbe und Verkehrsbereich, im Gesundheits- und Tourismussektor, der Land- und Forstwirtschaft sowie in der Stadtplanung und im Handel (neuartige) Beschäftigungen entstehen (müssen).

### 3 Berufe heute:

- 1. **Ingenieure**, die den idealen Ort für einen neuen Windpark und die richtige Höhe für die jeweiligen Windräder errechnen ...
- 2. **Heizungsmonteur**, die sich auf den Einbau von Holzpellet-Anlagen, Solarkollektoren oder Wärmepumpen spezialisiert haben ...
- 3. **Energieberater**, die die Bürger ihrer Stadt/ihrer Gemeinde über Möglichkeiten zum Energiesparen und Fördermöglichkeiten für erneuerbare Energien informieren ...

### Berufe von morgen - ?

Nachgefragt! Beruf kommt von Berufung. Welche Berufe haben Zukunft? Wozu fühlt ihr euch berufen? Worin liegen eure Fähig- und Fertigkeiten? Welche Berufsvisionen habt ihr? Wie könnt ihr euch in der Gesellschaft von morgen bestmöglichst einbringen?



### Weiter gedacht ...

Strom kann und muss effizient erzeugt werden. Normalerweise gehen bis zu 60 % der eingesetzten Energie als Abwärme verloren. Alternativen sind beispielsweise die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) oder sauberer Strom aus erneuerbaren Energien oder ...

### Kraft-Wärme-Kopplung:

KWK ist zweifelsfrei die effektivste und CO<sub>2</sub>-ärmste Art der Nutzung fossiler Energieträger. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen dienen der kombinierten Strom-Wärme-Erzeugung. Dabei wird die bei der Stromproduktion erzeugte (Ab-)Wärme z. B. zur Heizung von Wohnungen, Krankenhäusern oder Schulen in der Umgebung genutzt. Das funktioniert über ein Leitungssystem, in dem die Heizwärme verteilt wird. Durch die hoch effiziente Energieausnutzung (Strom und Wärme) können etwa 85 % der Primärenergie genutzt werden – unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten ein großer Fortschritt! Die Kombination aus Verbrennungsmotor bzw. Brennstoffzelle und Generator zur Produktion von Kraft (Strom) und Wärme nennt man Blockheizkraftwerk (BHKW).

### Sauberer Strom:

Ob „grüner Strom“, „sauberer Strom“ oder „Ökostrom“ – immer werden zum großen Teil bzw. komplett erneuerbare Energien wie Wind- und Wasserkraft oder Photovoltaik genutzt. Stromverbraucher haben die Chance, durch ihre Nachfrage grünen Strom und damit den Einsatz erneuerbarer Energien zu fördern. Jede Kilowattstunde sauberer Strom ergänzt solchen Strom aus dem Netz, der mit einem hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoß verbunden ist. Wichtig ist, dass der Neubau von Anlagen zur Gewinnung grünen Stroms gefördert wird, denn hierdurch erhöht sich kontinuierlich der Anteil erneuerbarer Energien.

### WINDKRAFT



### BRENNSTOFFZELLE



### PHOTOVOLTAIK



### Energiezukunft Brennstoffzelle:

Brennstoffzellen können aus einem Brennstoff (meist Wasserstoff) und Sauerstoff (oft reicht der Sauerstoff der Luft) direkt Strom produzieren. Sie erzielen hohe Strom-Wirkungsgrade von bis zu 60 % (in einem BHKW sogar bis 90 %), arbeiten im Prinzip geräuschlos und vibrationsfrei und produzieren wenig Schadstoffe. Das Prinzip ist bei allen Zelltypen gleich; was sie unterscheidet sind die Elektrolyten und die verwendeten Brenngase. Zwischen zwei Elektroden (der Anode und der Kathode) befindet sich ein Elektrolyt, der den Ionen- (meist Protonen-) Austausch ermöglicht. Die Elektroden sind über einen äußeren Stromkreis verbunden. Neben dem Strom als Hauptprodukt ent-

steht Abwärme, die in BHKWs mit Brennstoffzellen jedoch genutzt werden kann. Damit eignen sich Brennstoffzellen besonders für die dezentrale Energieversorgung und den mobilen Einsatz. Prototypen von PKWs, Bussen, Kleintransportern sind bereits auf unseren Straßen unterwegs. Auch Laptops mit Brennstoffzellenantrieb befinden sich in der Entwicklungs- und Erprobungsphase. Wichtig ist jedoch die Klärung der Frage, woher die große Menge (am besten nachhaltig erzeugter) Wasserstoff für die Brennstoffzellen kommt. Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff sind heute beispielsweise:

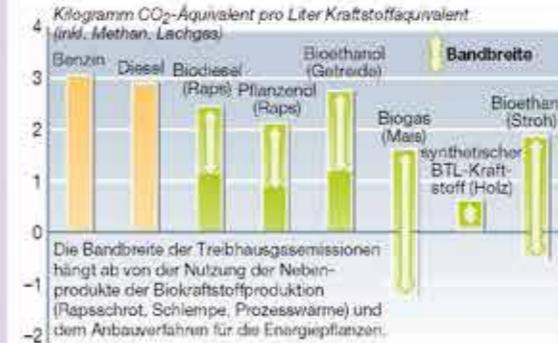
- die Elektrolyse von Wasser,
- die Vergasung, Vergärung von Biomasse oder
- die Gewinnung aus Grünalgen.

siehe auch: [www.dieBrennstoffzelle.de](http://www.dieBrennstoffzelle.de)

## JEDE MENGE TREIBSTOFF

2009 wurden in Deutschland rund 100 Mio. t Rohöl verbraucht; weltweit werden jährlich 670 Mio. t Mineraldiesel und 950 Mio. t Benzin verbrannt.

### Treibhausgasemissionen von fossilen Kraftstoffen



Quellen: IE Leipzig, Öko-Institut, Stand: 2/2008

### Fahrleistung eines PKW mit dem Ertrag von einem Hektar Energiepflanzen



Je nach Herkunft, Anbau und Produktionsverfahren sind die CO<sub>2</sub>-Bilanzen der Biokraftstoffe äußerst unterschiedlich.

### Alternativen

Sie heißen Biodiesel, Bio-Ethanol, Biogas, Pflanzenöl oder BtL-Kraftstoff, sind mittlerweile erprobt und ausge-reift für den Antrieb von Motoren in Autos, Lkw, Schiffen und Flugzeugen und reduzieren CO<sub>2</sub>-Emissionen; je nach Herstellung von einem Drittel bis zu über 100 % weniger CO<sub>2</sub> als von fossilen Kraftstoffen emittiert wird. Ein weiterer Vorteil: Sie ersetzen bereits heute in größeren Mengen Erdöl. Das macht sie unverzichtbar für energieeffiziente Verkehrsstrukturen. Und: Biokraftstoffe werden in Deutschland hauptsächlich mit heimischer Biomasse erzeugt.

### BIODIESEL

- Herstellung aus Pflanzenölen wie Raps oder Sonnenblumen sowie aus tierischen Fetten; Verwendung als Dieselerersatz oder in Mischungen
- als kaltgepresstes Öl können Pflanzenöle auch direkt als Kraftstoff verwendet werden
- Vorteil: biologisch gut abbaubar und unter normalen Bedingungen innerhalb von 28 Tagen zu 99 % durch Mikroorganismen zersetzt

### BIO-ETHANOL/ BIOGAS

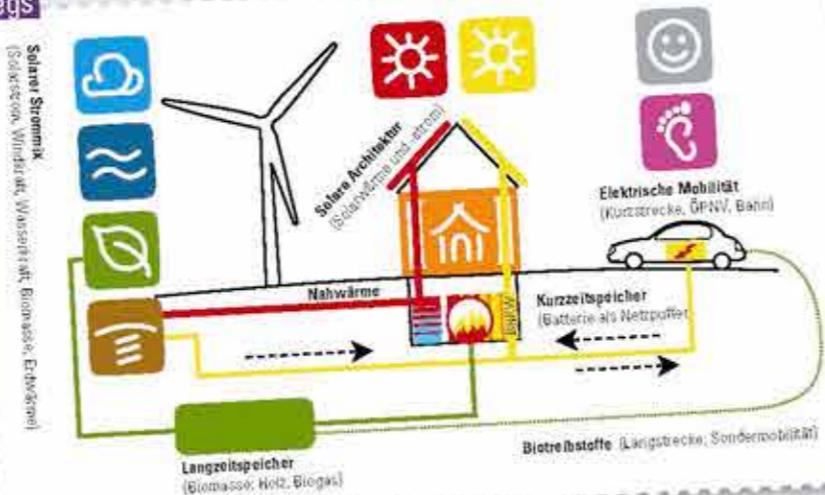
- Gewinnung aus stärkehaltigen Pflanzen wie Mais, Weizen, Gerste oder durch Hydrolyse aus Zellulose in Holz und pflanzlichen Reststoffen (=BtL-Kraftstoff und bedeutet Biomass to Liquid); kann direkt als Benzinerersatz mit speziell angepassten Motoren verwendet werden.
- ersetzt pro Hektar und Jahr nahezu 5.000 Liter Benzin

## Die Kehrseite der BIO-Energie-Medaille

Für eine Tankfüllung Bio-Ethanol (= 100 l) wird so viel Getreide benötigt (= 240 kg Mais), dass ein Mensch ein ganzes Jahr davon leben könnte. Und: durch die steigende Produktion von Biomasse werden (direkt und indirekt) Monokulturen, Zerstörung des Regenwaldes und Konkurrenz um Ackerflächen gefördert. Fakt ist, dass der Ausbau von Bioenergie stets mit Augenmaß und unter Berücksichtigung aller Auswirkungen auf Umwelt und Klima erfolgen muss. Denn: Die Produktionsflächen bei uns (und auch weltweit) sind begrenzt und ein wesentlicher Einflussfaktor – das Klima – wird sich in den kommenden Jahren deutlich verändern.

## 100 % mit Erneuerbaren Energien unterwegs Comeback des Elektroautos

Elektrische Antriebe sind im Verkehr nichts Neues: Straßenbahnen und Züge fahren schon lange mit Strom. Neu ist die Kombination mit Erneuerbaren Energien: Leise, effizient und ohne CO<sub>2</sub>-Ausstoß ist das Elektroauto unterwegs; und im abgebildeten solaren Netzverbund unschlagbar.



## Ausblick auf ausgetüftelte Technologien für morgen:

- ☑ solargestützte Anlagen zur Klimatisierung
- ☑ kombinierte solare Heiz- und Kühlsysteme
- ☑ solarthermische Stromerzeugung in Kombination mit fossiler Energie in Hybridkraftwerken mit Solartürmen
- ☑ Solarhäuser
- ☑ Bierherstellung mit Hilfe von Solarenergie

## Weiter gedacht:

Steckt in den Biotreibstoffen auch BIO drin, wo BIO drauf steht? Oder sollten sie doch besser als Agrarkraftstoffe bezeichnet werden? Denn so wie „Kleider Leute machen“, fördern bestimmte Worte beim Verbraucher auch bestimmte (positive/negative) Gedanken.

## Energie in unserem Alltag

### Geld sparen und gleichzeitig Zukunft sichern

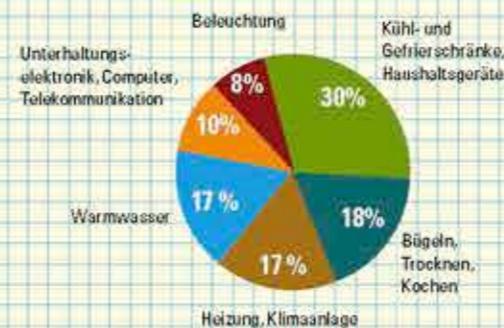
Die Zauberworte dafür heißen Energieeffizienz und Energieeinsparung. Vor allem zu Hause haben wir die Möglichkeit, den persönlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu reduzieren.

Durchschnittlich verbraucht ein Vierpersonenhaushalt im Jahr etwa 2.400 l Heizöl, 4.000 kWh Strom und 1.350 l Benzin fürs Auto. (1 l Heizöl = 1 m<sup>3</sup> Erdgas = 10 kWh)

### Von der Steckdose zur Spardose

Zuerst waren es nur Lampen, Fernseher, Stereoanlage, Waschmaschine und Kühlschrank. Später kamen Videorekorder, PC, Fax, Anrufbeantworter, Geschirrspüler, Trockner, DVD-Player, Handys und Aufladegeräte dazu. Alle diese Geräte haben eines gemeinsam: Sie verbrauchen unnötig Strom. Die Leerlaufverluste (Stand-by) dieser Geräte machen mehr als 10 % des Stromverbrauches eines Privathaushaltes aus und entsprechen etwa 400 kWh pro Jahr und Haushalt. Bundesweit addieren sich die Leerlaufverluste auf zwei große Kraftwerke; errechnete Summe der Stromverschwendung: mehr als 4 Milliarden Euro. Hier lautet die Devise: Ausschalten!

### Der durchschnittliche Stromverbrauch in Privathaushalten setzt sich in etwa folgendermaßen zusammen:



Hinzu kommt: Kühlschrank ist nicht gleich Kühlschrank, und Lampe ist nicht gleich Lampe, da oft gravierende Unterschiede im Stromverbrauch vorhanden sind. Hier hilft das EU-Energielabel mit den **Energieeffizienzklassen A** (niedriger Verbrauch) bis **G** (hoher Verbrauch). Das Umweltzeichen „Blauer Engel“ weist ebenfalls auf umweltfreundliche Geräte und Materialien hin. Und auch der Lampentausch bringt's! 95 % der Energie benötigt eine Glühlampe für die Erzeugung von Wärme. Weitaus effektiver sind Energiesparlampen und infrarotbeschichtete Halogenlampen. Ihr Vorteil: längere Lebensdauer und höherer Wirkungsgrad.

WEITERE ENERGIESPARTIPPS UNTER:  
[www.saena.de/Saena/Privatpersonen](http://www.saena.de/Saena/Privatpersonen)  
[www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-1/4004.pdf](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-1/4004.pdf)  
[www.umweltbundesamt.de/energie/sparen.htm](http://www.umweltbundesamt.de/energie/sparen.htm)  
 Mit einem Strommessgerät kommt man auch zu Hause unnötigem Stromverbrauch(ern) auf die Spur.

### Für Energie gibt es mehrere Energieeinheiten:

**Joule:** Einheit für Energie, Arbeit, Wärmemenge

**Watt:** Einheit für Leistung, Energiestrom, Wärmestrom

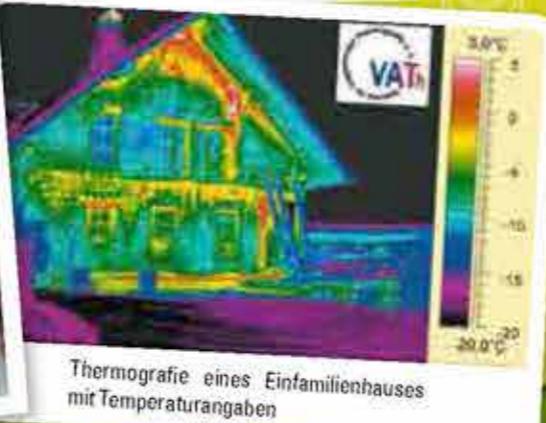
1 Joule = 1 Wattsekunde = 1 Newtonmeter oder: 3600 kJ = 1 kWh

Die gemessenen kWh können in die Menge der verursachten CO<sub>2</sub>-Emission umgerechnet werden. Der Umrechnungsfaktor für kWh in CO<sub>2</sub> in Sachsen ist: 641,3 g CO<sub>2</sub>/kWh.

## Energieausweis und energetische Sanierung

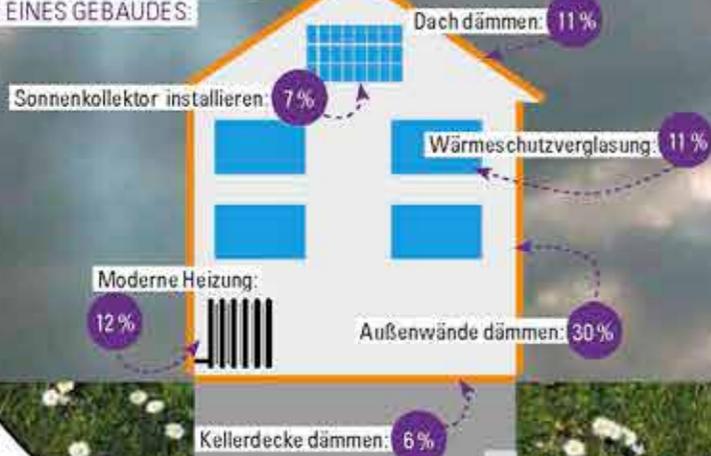
Wer im Winter ins Freie geht, zieht sich warm an, um nicht zu frieren. Ein Gebäude steht das ganze Jahr über im Freien. Ein Mantel für die eigenen vier Wände – die Wärmedämmung – hilft, Energie zu sparen. Schlecht gedämmte Gebäude sind die größten Energiefresser und eine große Quelle des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Mehr als zwei Drittel der sächsischen Wohnhäuser sind älter als 50 Jahre. Sachsen hat damit den ältesten Wohngebäudebestand in Deutschland. Egal, ob Einfamilienhaus, Wohnanlage oder Denkmal: In jedem Gebäude stecken Energiereserven, denen man mit einer Energieberatung auf die Spur kommen kann. Für Gebäude in Deutschland wurde daher mit der Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 der Energieausweis eingeführt.

Für die Ausstellung des Energieausweises ermittelt ein Energieberater die Energiebilanz des Hauses und schlägt mögliche Modernisierungsmaßnahmen vor. Mit der richtigen Dämmung, neuen Fenstern und Türen, einer modernen Heizungsanlage, der Nutzung erneuerbarer Energien sind Einsparungen von bis zu 90 % möglich. Bei Ämtern, Schwimmbädern, Schulen, die 5-10 % zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen einer Stadt beitragen, gibt es ebenfalls viele Einsparmöglichkeiten. Daher werden auch für diese so genannten Nichtwohngebäude inzwischen Energieausweise verlangt.



Thermografie eines Einfamilienhauses mit Temperaturangaben

### DURCHSCHNITTliche ENERGIESPARPOTENZIALE EINES GEBÄUDES:



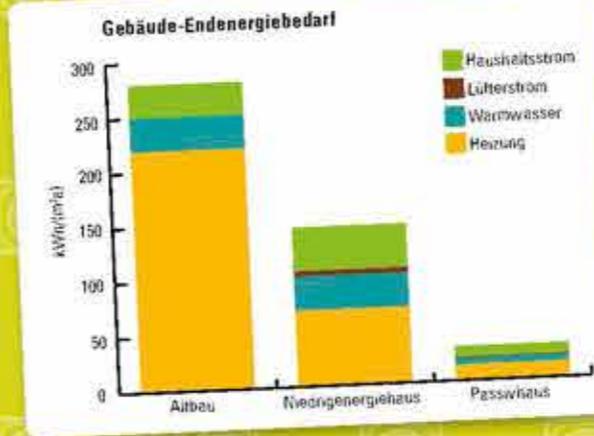
Energieschwachstellen gibt es nicht nur bei Heizung, Warmwasseranlagen oder Elektrogeräten. Das Thermobild zeigt auf deutliche Weise die energetischen Schwachstellen eines Hauses und liefert ein exaktes Abbild der Temperaturverteilung. So kann die dämmtechnische Qualität eines Gebäudes zuverlässig und störungsfrei bestimmt werden. Voraussetzung: eine fachgerechte Durchführung.

## DIE GEBÄUDE VON MORGEN

### Niedrig-, Passiv-, Null- und sogar Plusenergiehäuser

Als Erste haben die Kanadier und Skandinavier **Niedrigenergiehäuser** entwickelt. Sie verbrauchen im Vergleich zum bisherigen Baustandard weniger als die Hälfte an Heizenergie: bei einem Einfamilienhaus ca. 70 kWh/m<sup>2</sup>, bei Mehrfamilienhäusern etwa 55 kWh/m<sup>2</sup>. Auch für Altbauten (Wohnhäuser aus den 1960er, 1970er Jahren benötigen bis zu 300 kWh/m<sup>2</sup>a) ist es möglich, durch umfassende energetische Sanierungen den Standard eines Niedrigenergiehauses zu erreichen. Noch sparsamer sind **Passivhäuser**, eine Weiterentwicklung der Niedrigenergiehäuser. Der Heizwärmebedarf pro Jahr liegt maximal bei 15 kWh/m<sup>2</sup> (Heizöläquivalent von etwa 1,5 Liter Heizöl/m<sup>2</sup> Wohnfläche im Jahr), der Primärenergiebedarf einschließlich Haushaltstrom

unter 120 kWh/m<sup>2</sup>. Das Besondere an Passivhäusern: Ihre ausgezeichnete Wärmedämmung ohne luftdurchlässige Fugen, der Einsatz dreifachverglaster Fenster, die kontrollierte Wohnungslüftung: kalte Außenluft wird durch ausströmende Warmluft erwärmt, Kälte, Schmutz und Pollen bleiben draußen. Die erforderliche Restwärme und das notwendige Warmwasser werden z. B. über Solarthermie, eine Holzheizung oder über die Wärmeabgabe der Bewohner selbst erzeugt. Bei -10 °C Außentemperatur ist die benötigte Heizleistung mit höchstens 10 W/m<sup>2</sup> sehr gering: ein 100 m<sup>2</sup>-Haus hat demnach eine maximale Heizlast von 1 kW = die Leistung eines elektrischen Heizlüfters oder Haartrockners.



Ein **Nullenergiehaus** kommt im Jahresmittel ohne externe Energie wie Gas, Öl, Elektrizität aus. Die benötigte Energie für Heizung, Warmwasser wird im bzw. am Haus selbst erzeugt, meist durch Solaranlagen.

**Plusenergiehäuser** erzeugen mehr Energie als Sie verbrauchen; ausgestattet mit zahlreichen Solarzellen zur Stromerzeugung, Sonnenkollektoren und Anlagen zur Wärmerückgewinnung.



Der Kindergarten in Döbeln – ein Passivhaus



### NOCH EIN TIPP

Gerade an heißen Tagen und ohne Klimaanlage hilft das richtige Lüften vor allem in den frühen Morgenstunden. Wenn dann die Sonne anfängt zu heizen, einfach Fenster und Jalousien schließen. Für den Luftaustausch zwischendurch reichen fünf Minuten Durchzug bei weit geöffneten Fenstern (Stoßlüften). Auch beim Bauen sollten wir südländischen Gewohnheiten folgen, um die dort vorherrschenden Bauweisen abzugucken und unsere Häuser in strahlungsreflektierendem Weiß streichen.

## Einfach besser leben:

### Nachhaltigkeit als neuer Lebensstil

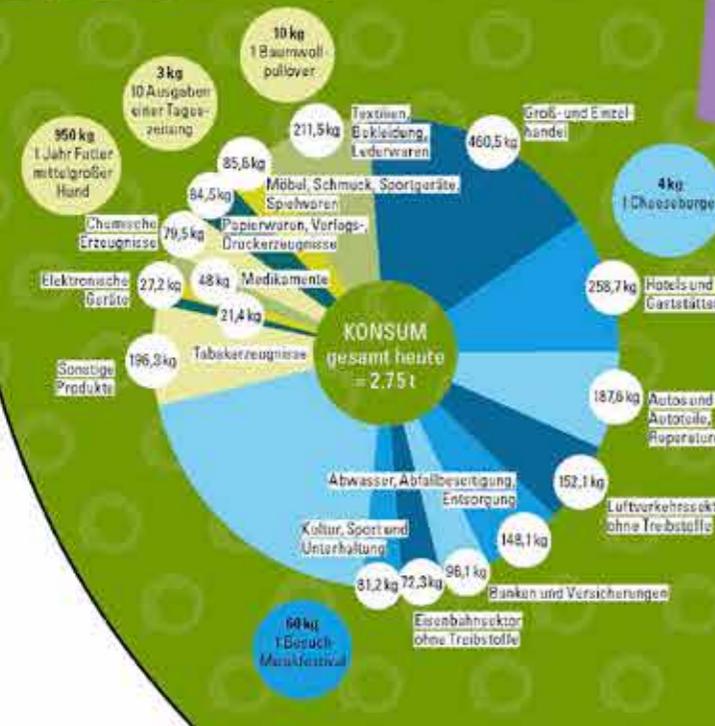
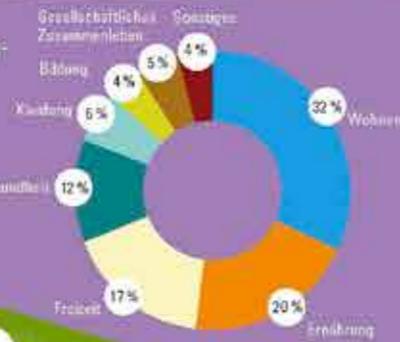
Mein Haus, mein Auto, mein Boot,  
meine Finka, mein Flatscreen, mein...

„Gut leben, statt viel haben!“  
(Slogan von Brot für die Welt e.V.)

Gut leben, doch nicht auf Kosten anderer – wäre das nicht erstrebenswert? Im Moment ist unser Wohlstand auf Pump gekauft; bezahlen müssen die Ärmsten und die kommenden Generationen. Unser Konsumverhalten plündert die Erde, produziert endlos Abfall, fördert den Klimawandel. Grundsätzlich haben aber alle Menschen das gleiche Recht auf einen gerechten Anteil an den Ressourcen dieser Erde. Es ist also an der Zeit für „The Great Transformation“ – den Umbau zu einer nachhaltig agierenden Gesellschaft – und die fängt bei jedem selbst an.

Durch Verhaltensänderungen zu energie- und ressourcenschlankeren Lebensstilen  
oder von derzeit über 10 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr auf maximal 2

Gesamten Energieverbrauch in Deutschland nach Sektoren



Wirkungsvolle Beiträge zum Klimaschutz sind Änderungen in unserem Konsumverhalten. So verringern beispielsweise die Einschränkung des Fleischverzehrs oder der Verzicht auf Flugreisen die persönliche CO<sub>2</sub>-Bilanz erheblich.

## Essen für den Klimaschutz

**Die Fakten:** Die Produktion von tierischen Lebensmitteln wie Fleisch, Wurst, Käse ist besonders energieaufwendig und klimabelastend. Um 1 kg Fleisch zu produzieren, werden durchschnittlich 7 kg Getreide verfüttert; bei der Produktion von 1 kg Rindfleisch über 13 kg Treibhausgase freigesetzt. 18 % der globalen Treibhausgase entfallen auf die Viehhaltung. Seit 1970 hat sich die Fleischproduktion weltweit mehr als verdoppelt. Und: Ein Drittel unseres Restmülls besteht aus Nahrungsmitteln!

TREIBHAUSGASEMISSIONEN TIERISCHER UND PFLANZLICHER LEBENSMITTEL: KONVENTIONELLE ERZEUGUNG, ANBAU, VERARBEITUNG UND HANDEL IN DEUTSCHLAND

Tierische Lebensmittel	CO <sub>2</sub> -Äquivalente (g/kg Lebensmittel)	Pflanzliche Lebensmittel	CO <sub>2</sub> -Äquivalente (g/kg Lebensmittel)
Käse	8.350	Tofu*	1.210
Rohwurst	8.100	Teigwaren	930
Sahne	7.700	Mischbrot	820
Rindfleisch**	6.450	Brot	780
Eier	1.950	Weißbrot / Semmel	700
Quark / Frischkäse	1.950	Obst	460
Schweinefleisch**	1.900	Tomaten	330
Geflügelfleisch**	1.250	Kartoffeln	240
Joghurt	1.240	Gemüse	150
Milch	950		



Auch hier gehen Ökologie und fair gehandelte Produkte Hand in Hand.

**Fakt ist:** eine klimaoptimierte Ernährung kann den Ausstoß von Treibhausgasen um bis zu 50 % reduzieren!

### Schneller – Weiter – Höher ...

Oft kommt man ganz schön aus der Puste, um mit der rasend schnellen Entwicklung in Technik/Technologie, Mode und Lifestyle Schritt halten zu können. Wir haben uns zu einer konsumierenden Wegwerfgesellschaft entwickelt und vergessen sehr oft, was wirklich wichtig im Leben ist. Ist das ok?

„Gut leben, statt viel haben“: Was steckt dahinter? Was bedeutet Lebensqualität? Was ist wichtig für (m)ein gutes Leben; zum Glücklich-Sein? Ist es jetzt an der Zeit für die „Wiederentdeckung der Langsamkeit“, die Wiederentdeckung von Werten und Wertschätzung?

Konventionell oder BIO, regional oder überregional, saisonal oder nicht-saisonal erzeugte Lebensmittel? – ebenfalls wichtige Fragen, wenn es um aktiven Klimaschutz geht. Die Empfehlungen hier:

- mehr pflanzliche statt tierischer Lebensmittel, mehr biologisch und regional erzeugte Lebensmittel, mehr saisonales Gemüse und Obst, mehr frische und gering verarbeitete Lebensmittel.
- Flugzeugimporte vermeiden!

Weitere einfache Möglichkeiten für aktiven Klimaschutz sind:

- Abfall vermeiden und grünen Strom beziehen.
- möglichst langlebige Produkte kaufen und (die) Gegenstände lange verwenden, gegebenenfalls reparieren lassen. Der Grund: Graue Energie! Sie versteckt sich in der Herstellung von Produkten. Je länger ein Gegenstand verwendet wird, desto besser nutzen wir dessen graue Energie. Die Lebensdauer eines Produktes ist also von zentraler Bedeutung in Sachen Klima- und Umweltschutz.

Und so werden viele kleine Leute an vielen kleinen Orten, die viele kleine Dinge tun, das Gesicht der Welt verändern.  
(Afrikanisches Sprichwort)

## Sorgenkind Verkehr

### Harte Nuss für Klimaschützer?

Der Verkehr ist ein Hauptverursacher der CO<sub>2</sub>-Emissionen und verursacht neben hohen Schadstoffemissionen auch erhebliche Lärmbelastung. Beeinflusst werden die verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen einerseits durch die Fahrzeugtechnik, andererseits auch durch wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwick-

lungen, z.B. veränderte Lebensstile, Abwanderung der Landbevölkerung in das Stadtumland (Suburbanisierung) und die heute längeren Wege zur Arbeit, zum Einkaufen oder zur Schule. Wichtig ist daher die gesellschaftlich notwendige Mobilität möglichst umweltverträglich zu gestalten; allem voran durch das eigene Verhalten!

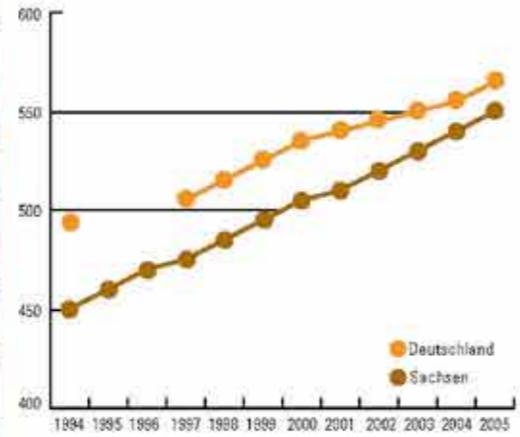
Im Vergleich zu Flugzeug und Auto verursachen Bus und Bahn durchschnittlich pro Personenkilometer (wenn eine Person einen Kilometer zurücklegt) deutlich weniger Treibhausgas-Emissionen. Fahrradfahrer und Fußgänger belasten die Umwelt gar nicht. Und noch etwas ist interessant: Wissenschaftler fanden heraus, dass die Menschen in allen Ländern und Kulturen durchschnittlich 60–90 Minuten für ihre täglichen Wege benötigen, egal, ob sie zu Fuß, mit öffentlichen Verkehrsmitteln, dem Maultier oder mit dem Auto unterwegs sind.

### Ein paar Fakten zu Flugverkehr und Klimaschutz:

Kurzstreckenflüge haben einen besonders hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Da der Ausstoß in Luftschichten über 10 km Höhe erfolgt, werden die Gase direkt in der Atmosphäre wirksam. Auch die von den Maschinen verursachten Kondensstreifen tragen zur Erwärmung bei. In der Europäischen Union (EU) haben sich die Emissionen des Flugverkehrs seit 1990 nahezu verdoppelt. Trotz seiner extremen Klimaschädlichkeit wird der Flugverkehr nach wie vor stark subventioniert. Ab 2013 unterliegt er jedoch dem Emissionshandel.



Energieverbrauch (Liter) und CO<sub>2</sub>-Ausstoß verschiedener Fahrzeuge pro Person auf 100 km



Motorisierung der Bevölkerung: Immer mehr Autos? Anzahl der Pkw pro 1.000 Einwohner, Sachsen und Deutschland im Vergleich. Tendenz steigend.

## Energiefresser Auto

Die Leistung unserer Automotoren messen wir gern in PS, obwohl die physikalisch korrekte Größe für Leistung das Watt (beim Auto meist kW = Kilowatt = 1000 Watt) ist. Beide Größen stehen in einem festen Verhältnis: 1 PS = 735 W, 100 PS = 73,5 kW, 100 kW = 136 PS.

Geschwindigkeit (bei Motorleistung mit 100 PSI)	Leistungsbedarf
50 km/h	5 kW (7 PS)
100 km/h	17 kW (23 PS)
140 km/h	37 kW (50 PS)

Die Geschwindigkeitsangaben gelten natürlich nur für gleichmäßige Fahrt, bei jeder Beschleunigung wird zusätzliche Leistung gebraucht. Klimaanlage, Zentralverriegelung, Bordcomputer und andere elektronische Teile benötigen ebenfalls Energie, sodass die meisten Autos mehr Kraftstoff verbrauchen als zum Fahren normalerweise nötig ist. Mit den Emissionswerten (se) für den jeweiligen Motortyp, den gefahrenen km pro Jahr (km/J) und dem durchschnittlichen Verbrauch auf 100 km (BV) lässt sich der jährliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines Autos errechnen:  $\text{kg CO}_2 \text{ Modell} = \text{km/J} * \text{BV} * \text{se} / 100$

- ☑ Dieselmotor: 2,63 kg CO<sub>2</sub>/l
- ☑ Ottomotor: 2,32 kg CO<sub>2</sub>/l
- ☑ Erdgasmotor: 2,23 kg CO<sub>2</sub>/kg Erdgas

**Das Ziel der Sächsischen Staatsregierung:** die durch den Verkehr bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken, unter anderem durch Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von PKW auf 120 g CO<sub>2</sub>/km bis 2015 und 95 g CO<sub>2</sub>/km bis 2020.

Eine CO<sub>2</sub>-Einsparung ist nicht allein das Ergebnis der technischen Entwicklung von Fahrzeugen und Motoren. Autofahren wird durch steigende Energiepreise und höhere Steuerbelastungen für viele einfach auch zu teuer. Ob ich allein mit dem Pkw unterwegs bin oder das Fahrrad benutze, eine Fernreise in die Karibik antrete oder Urlaub auf dem heimischen Bauernhof mache, ob ich ständig mit meinem Auto beschleunige und abbremsse oder im Verkehrsstrom „mitschwimme“ – mit einem energiefreundlichen Verkehrsverhalten kann sehr viel CO<sub>2</sub> eingespart werden. Außerdem sind Alternativen wie Mitfahrgelegenheiten, Carsharing oder Nutzung des ÖPNV vorhanden.

### Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor Verkehr.



**Nachgefragt:** Wie sieht euer eigenes Mobilitätsverhalten und das eurer Familie, Freunde aus? Und was wären klimafreundliche Alternativen? Erstellt einmal euer eigenes Mobilitätsprofil: x-Achse mit unterschiedlich genutzten Verkehrsmitteln im Jahr, y-Achse für das „Wie oft?“ mit geeigneter Einheit, z.B. km oder h.

## Schulen machen Klimaschutz

### Mission Klima: Viele Wege – ein Ziel

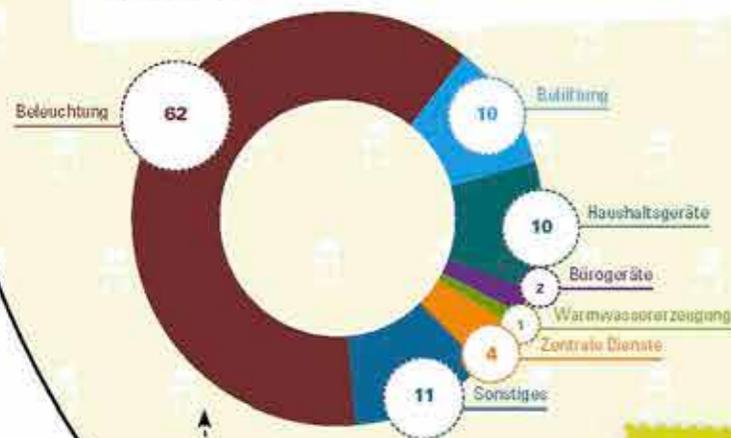
Mit ihrem hohen Wärme- und Wasserbedarf, den vielen Beleuchtungskörpern und anderen Geräten besitzen gerade Schulen enorme Potenziale für einen bewussten und effizienten Umgang mit Energie und Wasser.

85% – 95% des Energieverbrauchs entfallen derzeit auf die Heizung und 5% – 15% auf den Strom; zu den Energiekosten trägt die Wärme 60% – 80% bei und der Strom 20% bis 40%.

Wie zu Hause gilt auch in der Schule: alle Maßnahmen müssen sicherstellen, dass die gewünschten Energiedienstleistungen – egal ob angemessene Beleuchtung, angenehmes Raumklima oder funktionsfähige Geräte – weiterhin zur Verfügung stehen; aber eben energiebewusst. Der einfachste und preiswerteste Weg, weniger CO<sub>2</sub> durch den Energieverbrauch frei zu setzen, ist Energie dort einzusparen, wo sie unnötig verbraucht wird. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen elektrischer Geräte lassen sich am besten

mit einem Energiemonitor ermitteln. Bei der Raumbeleuchtung hilft ein Luxmeter unnötig helle Beleuchtung zu erkennen und die richtige Beleuchtungsstärke (von 300 – 500 Lux) einzustellen. Auch richtiges Heizen und Lüften spart Energie; und mit dem Thermometer lässt sich die optimale Raumtemperatur ermitteln. Der effiziente Umgang mit Wasser ist durch Verhaltensänderungen und gebäudetechnische Maßnahmen umsetzbar. Ein erster Schritt: den Wasserverbrauch über Durchflussmenge und Laufzeit ermitteln.

☑ **Musterprotokolle, Checklisten, Referenz- und Richtwerte** stehen beispielsweise unter <http://klima.bildungscnt.de/downloads/> bereit. Auf [www.energiesparclub.de](http://www.energiesparclub.de) kann einfach und kostenfrei ein **Energiesparkonto für Schulen** eingerichtet werden, was alle Verbräuche für das Schulgebäude erfasst und bewertet.



Stromverbrauch einer durchschnittlichen Schule in %

☛ Der Umrechnungsfaktor für kWh in CO<sub>2</sub> ist: 628 g CO<sub>2</sub>/kWh (Bundesdurchschnitt); 641,3 g CO<sub>2</sub>/kWh in Sachsen. Damit lässt sich die eingesparte CO<sub>2</sub>-Menge elektrischer Geräte ermitteln.

Und wenn jeder Baum etwa 20 kg CO<sub>2</sub>/Jahr speichern kann, wie viele Bäume müssten für die CO<sub>2</sub>-Neutralität der Schule gepflanzt werden?

## Gute Praxis von / an Schulen

### Tipps für Aktions- und Projektideen

An Schulen geht aber noch viel mehr: von BIO und regional erzeugten Produkten in der Schulmensa bis hin zum Einsatz erneuerbarer Energien, beispielsweise in Form einer Photovoltaikanlage auf dem Schuldach. Alle Vorschläge sind über Schul-Aktionen und Projektarbeit umsetzbar.

- ☑ **Klima-Projektwerkstatt:** Eine ganze Woche rund ums Klima; am besten mit dabei: der sächsische Klimapavillon samt Klimakoffer
- ☑ **Schlau gedacht und schlau gemacht: CO<sub>2</sub>-neutrale Klassenfahrten**
- ☑ eigene **Klima-Forschungsprojekte** entwickeln, um nach (Klima-)Effekten zu suchen, die direkt vor Ort ausgelöst werden anstatt z.B. abstrakt über den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Chinesen auf der anderen Seite des Globus zu debattieren
- ☑ **Schülerfirmen** gründen, z.B. Energieberatung für Privathaushalte und Schulen unter dem Motto: Strom sparen – den Geldbeutel entlasten – das Klima schützen ...
- ☑ aktiv **Bildungsarbeit** leisten in Sachen Umwelt- und Klimaschutz: Ältere Schüler können den jüngeren erklären, wie unser Umgang mit natürlichen Ressourcen den Klimawandel beschleunigt und wo man im Alltag Energie sparen kann ...
- ☑ einen **Klimalehr- oder -erlebnispfad** mit phänologischem Garten, Arbeitsblättern und Informationstafeln gestalten

Das nötige Kleingeld dafür gibt's unter anderem bei

☛ **SAENA:** [www.saena.de/Saena/Schueler\\_Schulen/Energiesparprojekte/Energiesparwette.html](http://www.saena.de/Saena/Schueler_Schulen/Energiesparprojekte/Energiesparwette.html)  
 ☛ **Fifty/Fifty:** [www.ufu.de/de/fifty-fifty/fifty-fifty-home.html](http://www.ufu.de/de/fifty-fifty/fifty-fifty-home.html)  
 ☛ **Aktion Klima:** <http://klima.bildungscnt.de/>

#### Klimapavillon und Klimakoffer

- ☑ ein unschlagbar interaktives Informationsteam
- ☑ für Schulen kostenfrei bestellbar unter [www.klima.sachsen.de](http://www.klima.sachsen.de)



#### KLIMAPAVILLON

multimediale Präsentation, über die per Touchscreen sachsenspezifische Informationen zum Klimawandel und seinen Folgen, zum Klimaschutz sowie zu Handlungsmöglichkeiten abgefragt werden können

#### KLIMAKOFFER

ausgestattet mit Energiemessgeräten, Schülerexperimenten und -Aktionen sowie Klima-Aktions-Brettspiel

WAS NOCH ALLES AN SCHULEN GEHT, LIEGT JETZT IN EURER HAND. WICHTIG IST, ZU HANDELN!

## ALLES NUR HEISSE LUFT?

ALLE reden vom Klima. Ein bewegendes und so komplexes Thema wie der Klimawandel wird heute in der breiten Öffentlichkeit diskutiert und bringt viele verschiedene Stimmen hervor. Nicht allen kann und sollte man bedenkenlos vertrauen. Aber welche Aussagen sind nun seriös; wem kann man im Dschungel der vielen Meldungen und Informationen trauen?

Müssen sich die Sachsen in Zukunft vor Tornados fürchten? Werden die deutschen Küsten im Wasser versinken? Sind wir Menschen wirklich schuld am Klimawandel, oder messen wir einfach nur zu genau? Das Klima ist ein heikles Thema: Schutzmaßnahmen sind teuer, da scheint es einfach, alles auf die Sonne zu schieben. **Der Streit beginnt!**



„Seitdem es Diskussionen um den Zustand und die Veränderung der Umwelt gibt, treten zwei Typen von Diskussionsteilnehmern auf: Warner und Entwarner (Leugner). Die einen warnen vor den Auswirkungen unserer Aktivitäten auf die Umwelt und vor entsprechenden negativen Folgen, die auf uns zurückfallen könnten. Die anderen hingegen geben Entwarnung, bezeichnen die Warnungen als übertrieben und erklären, die Folgen seien nur halb so schlimm oder vernachlässigbar.“

„Wenn ich derzeit meine Arbeit als Klimaforscher erwähne, höre ich oft: Es ist ja wohl sehr umstritten, ob der Mensch für den Klimawandel verantwortlich ist. Verfolgt man die Medien, kann man durchaus diesen Eindruck gewinnen“ (S. Rahmstorf). Doch spiegelt diese Mediendiskussion auch die wissenschaftliche Diskussion wider? Naturwissenschaftliche Diskussionen drehen sich um die Qualität und Stichhaltigkeit von Daten, Modellen und Argumenten – müssen dem ethischen Grundsatz der Wissenschaft genügen, und sie werden in der Fachliteratur und bei wissenschaftlichen Konferenzen und Workshops geführt. Gibt es also einen solchen Wissenschaftsstreit? Und wenn ja, wem dient er?

SEIT JAHREN BESCHÄFTIGEN SICH WISSENSCHAFTLER AUF DER GANZEN WELT MIT DEM KLIMAWANDEL: Internationale Institutionen wie das mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnete Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) untersuchen das Phänomen. Auch diese Klimaforscher sind sich nicht immer einig. Aber sie versuchen sich auf sachliche Argumente zu stützen, vergleichen immer wieder ihre Forschungsergebnisse und klopfen sie stets daraufhin ab, ob sie sauber belegt sind oder ob etwas dagegen spricht. In dem Maße, in dem der IPCC jedoch politisch an Gewicht und Einfluss gewann, wurde er auch zur Zielscheibe der Kritik. Denn nicht nur Experten mischen sich in die Klimadiskussion ein. Auch die Medien, Politiker, Umweltorganisationen, die Lobby der Wirtschaft, engagierte Laien nehmen unterschiedliche Positionen den Klimaforschern gegenüber ein; interpretieren und nutzen wissenschaftliche Ergebnisse und Aussagen je nach ihrer Interessenslage und ihrem Verständnis der Zusammenhänge.

☞ siehe auch <http://blog.ufz.de/klimawandel/archives/516> zur Diskussion um das IPCC und dessen Glaubwürdigkeit

DAS GUTE AN DER SKEPSIS  
Skepsis bedeutet nichts anderes als alles zu hinterfragen, anzuzweifeln, zu untersuchen und dabei offen zu sein für neue Ideen. Ein Skeptiker ist also kein Leugner!

Und da unbequeme Wahrheiten selten willkommen sind, ist es umso wichtiger, sich in diesem Prozess (s)eine eigene Meinung zu bilden und mit seinen Entscheidungen Verantwortung zu übernehmen. Seriöse Quellen sind unter anderem echte Fachliteratur (sowohl in Buch- und Zeitschriftenform, als auch über das Internet), allgemein verständliche Literatur, Materialien von Fachbehörden; und nicht zu vergessen der eigene kritisch arbeitende Verstand.

„Die wollen sich nur wichtig machen!  
Die Wissenschaftler haben sich verschworen und jagen uns allen nur Angst ein, um an Fördergelder zu kommen.“ (Dr. Wolfgang Thüne)

„Die Sonne ist schuld! Nicht die Treibhausgase, sondern Veränderungen der direkten Sonneneinstrahlung und Schwankungen des kosmischen Strahlenflusses sind allein für die Klimaveränderung verantwortlich!“ (R. Timothy Patterson)

„Klimaschutzmaßnahmen sind nur rausgeschmissenes Geld! Allein das Kyoto-Protokoll hat viele Milliarden Dollar gekostet und bewirkt kaum etwas: Nur 0,1 Grad weniger Erderwärmung werden so erreicht. Das Geld sollte man besser in die Wirtschaft stecken!“ (Dr. Ulrich Bemer)

# Klimaforscher

## zuverlässige Informationsquellen

„Wissenschaftler sind in der Regel davon angetrieben, Dingen auf den Grund zu gehen, ihren Forschungsgegenstand wirklich zu verstehen. Denn was gibt es Faszinierenderes, als die komplexen Systeme auf unserem Planeten? Die Klimaforschung will wissen, wie das zusammen funktioniert. Man findet Physiker, Chemiker und Mathematiker, genauso Meteorologen, Geographen, Geologen und Geoökologen, Forstwirte, Hydrologen, Wirtschaftswissenschaftler und Psychologen, Sozialwissenschaftler und Ethiker – und damit ist die Reihe bei weitem nicht vollständig. Alle arbeiten gemeinsam daran, das Klimasystem und seine Wechselwirkungen nicht allein im naturwissenschaftlich-technischen Sinn, sondern auch in seiner Rückkopplung mit den menschlichen Gesellschaften zu verstehen und daraus Handlungsoptionen für die Zukunft abzuleiten. Die entsprechenden Erkenntnisse sollen auch einer breiten Öffentlichkeit verständlich gemacht werden, da das Thema für die gesamte Menschheit von Bedeutung ist.“



Jörg Matschullat, Professor an der TU Bergakademie Freiberg

Dabei sind ernsthafte „Wissenschaftler (egal woran sie forschen) jene, die nach den bewährten, überprüfbar Kriterien der Wissenschaft eine qualitativ hochwertige Arbeit leisten und so spürbar zum Erkenntnisfortschritt beitragen. Und: Ernsthafte Wissenschaftler folgen einem ethischen Grundsatz, ähnlich dem Hippokrates-Eid bei Medizinern. Sie haben eine große Verantwortung; sind rechenschaftspflichtig gegenüber der Gesellschaft. So werden alle Veröffentlichungen von anderen Fachkollegen geprüft. Erst wenn keine Fehler enthalten sind, darf das Manuskript gedruckt werden.“

„Ernsthafte Wissenschaftler „glauben“ nicht fest an Dinge, die sie dann wieder umwerfen. Auch halten sie bestimmte Annahmen kaum je für absolut wahr oder falsch, sondern für mehr oder weniger wahrscheinlich. So halten heute fast alle Klimaforscher eine anthropogene Klimaerwärmung für sehr wahrscheinlich; Belege dafür liefern tausende von Studien. Eine einzige neue Studie wird diese Einschätzung kaum grundlegend ändern. Denn wissenschaftlicher Fortschritt verläuft in der Regel nicht durch ständige Umwälzungen, sondern durch eine große Zahl kleiner Schritte. Erkenntnisse zum Klimawandel ergeben sich durch:

- ☑ Messdaten
- ☑ elementares physikalisches Verständnis über die Abläufe des Strahlungshaushaltes unseres Planeten, des Treibhauseffektes, Wirkungen der Treibhausgase ...
- ☑ detaillierte Klimamodelle.“



Hans Joachim Schellnhuber, Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung und Professor für Theoretische Physik an der Universität Potsdam, seit 2010 auch Professor am Santa Fe Institute, USA. Schellnhuber ist langjähriger Berater der Bundesregierung in Klimafragen.



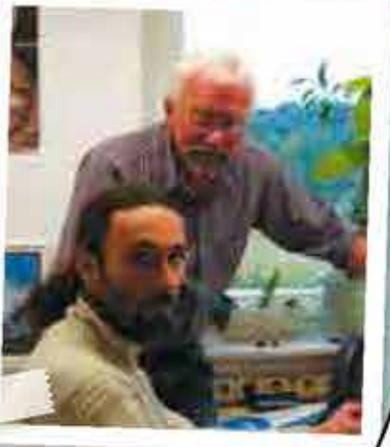
Christian Bernhofer, Professor für Meteorologie an der TU Dresden

„Der IPCC ist die beste Quelle zu fast allen Fragen, die das Weltklima betreffen. Seine Mitglieder (Wissenschaftler und politische Vertreter der UNO-Länder) bemühen sich um eine sachliche und umfassende Darstellung des Klimawandels, die in mehrere tausend Seiten dicken Berichten zusammengefasst werden. Natürlich kommen da ab und zu auch Fehler vor. Aber bis heute sind alle Kernaussagen, z.B. dass wir einen menschengemachten Klimawandel erleben, der sich fortsetzen wird, immer bestätigt worden.“

„Es ist sehr schwierig denjenigen, die grundlegende wissenschaftliche Erkenntnisse zum Klimawandel nicht anerkennen, mit fachlichen Argumenten zu begegnen; vielleicht sogar unmöglich. Wichtig für eine Diskussion ist zu erkennen, wer grundsätzlich bereit ist für einen Diskurs und wer nicht.“

„Es gehört viel Mut dazu, mit dem Wissen, das man hat, seinen Standpunkt zu vertreten, zu handeln und somit Verantwortung zu übernehmen – gegen alle Widerstände! Wichtig: Niemals aufgeben!“

Und: „vertrauensvolle Aufklärung; unbedingt mehr Schüler informieren, denn sie werden mit den künftigen Veränderungen leben müssen.“  
 „Für die Schüler bedeutet das: ... wissbegierig zu sein, aufmerksam zu verfolgen, was da passiert. Zugleich kann es viel Freude machen, sich zu engagieren und beizutragen, dass unsere Zukunft so wird, wie wir uns das wünschen.“



Meteorologe Wilfried Kühler, Hydrologe Udo Mellentin Experten für Klimawandel am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Das heißt auch „an viele Fragen skeptisch rangehen, sie in Frage stellen, selber nachprüfen und durch eigene Untersuchungen zu eindeutigen Schlussfolgerungen kommen.“

**Bleibt nur noch eins zu sagen – und da sind sich nicht nur diese 5 Klimaforscher einig:** „Man soll die Erde so hinterlassen, dass sie auch für künftige Generationen – einschließlich Tiere und Pflanzen – gute Lebensbedingungen bietet; möglichst an vielen Orten der Erde. Dazu gehört ein sparsamer, intelligenter Umgang mit Ressourcen. Wenn das bald geschieht, kann auch ein Teil des Klimawandels noch verhindert werden.“

## BILDNACHWEIS

Titel: Sachsen im Klimawandel, SMUL / 52, 25.11.2008 Grafik LULUG / 52, 23.09.2008 Grafik TU Dresden, SMUL / 52, 29.09.2010 Foto: dpa – H.Schmidt / VOR-Werbeagentur // 5.2 oben links: Kurt Miché<sup>4</sup>; oben rechts: Ární Friðriksson: [http://de.wikipedia.org/wiki/index.php?title=Date:Eya\\_fjalajökull-April-17.JPG&filetimestamp=20100419093800](http://de.wikipedia.org/wiki/index.php?title=Date:Eya_fjalajökull-April-17.JPG&filetimestamp=20100419093800) ; Mitte links: Jouni; Mitte rechts: Dr.-Ing. Ralf Böhm; unten links: SMUL; unten rechts: Olaf Schneider<sup>4</sup> // 5.3 oben links: Maria Lanzaster; Mitte links: Technische Universität (TU) Dresden, Professor für Meteorologie; unten links: S. Köpstein, *SMUL*; unten rechts: SMUL // 5.4: Olaf Schneider<sup>4</sup> // 5.5 links oben: Wilfried Kötler, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LULUG) // 5.5 rechts oben: SMUL // 5.5 unten: SMUL // 5.6: SMUL // 5.7 Mitte: TU Dresden, Professor für Meteorologie // 5.8 rechts oben: Kändler und MelienIn (LULUG) // 5.9: SMUL // 5.10: Grafiken: SMUL // 5.10 unten rechts: S.Hotthälger<sup>4</sup> // 5.11 Dr.-Ing. Ralf Böhm // 5.12 von oben nach unten: Abrecht, Amold; Knippselne; Kurt Domnik; Maja Duma<sup>4</sup>; Angelina Strobel<sup>4</sup> // 5.13: DWD 2010 // 5.14 oben: Daniel Gash<sup>4</sup>; S.14 unten: MFH-Hamburg // 5.15: LULUG // 5.16 oben nach Mojib Latif // 5.16 unten: LULUG // 5.17: SMUL // 5.18 oben: Kurt Miché<sup>4</sup> // 5.18: Berliner Wetterkarte // 5.19 oben links: Berliner Wetterkarte // 5.19 oben rechts: [www.wetter.com/](http://www.wetter.com/) // 5.19 unten: LULUG // 5.20: <http://de.wikipedia.org/wiki/Wiktion%C3%A4r:Wetter> // 5.22 links: zusammengestellt nach Meyers Lexikonredaktion (Hrsg.) (1998) Wie funktioniert das? Wetter und Klima. Mannheim / 5.22 unten: nach Jürgen Bauer (2009) Seydlitz Geographie, Ausgabe Südsachsen, Veränderung ergänzt // 5.23 rechts oben zusammengefasst durch Valeri Goldberg, TU Dresden, Professor für Meteorologie // 5.23 unten nach Verlag Das Beste (Hrsg.) (1998) Wetter und Klima erkennen und verstehen. Stuttgart, verändert // 5.24 Mitte WetterOnline // 5.24 rechts oben: Technische Universität (TU) Dresden, Professor für Meteorologie // 5.25: Verena M<sup>4</sup> // 5.26 v.l.u.r. Bild: Fainer Sturm<sup>4</sup>; 47; Knippselne<sup>4</sup>; Bild 2; 3; 5; 6; Sachsenkarte; Bild 8 – B. Lut. // 5.27 rechts: Donnerwetter.de // 5.27: S.Hotthälger // 5.28 oben: [www.photoscape.de/](http://www.photoscape.de/) // 5.28 unten: Chris-Tan-Dietrich Schwäbe // 5.29 oben: Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg // 5.30 rechts oben: Hamburger Bildungsseminar // 5.30 links unten nach IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis // 5.31 nach Matthias Forkel, Internetquelle [www.m-forkel.de/mediawiki/index.php/Strahlungsklimatitel](http://www.m-forkel.de/mediawiki/index.php/Strahlungsklimatitel), 5.31: verändert nach BfRS-Germany e.V. // 5.32 links oben: nach Angaben aus Harmit, Leser (Hrsg.) (1997) Weltatlas Allgemeine Geographie München, Braunschweig // 5.32 rechts: verändert nach [www.kowarna.de/](http://www.kowarna.de/), 2005 // 5.33 rechts oben: MFH-Hamburg // 5.33 rechts: nach Angaben IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis // 5.33 rechts unten: verändert und ergänzt nach Angaben von Schwäbe (2009) Klimatologie 5. Stuttgart / IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis // 5.34: nach Mojib Latif (2004) Klima. Frankfurt am Main // 5.35 oben nach Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.) (2005) Wetterkatastrophen und Klimawandel. Sind wir noch zu retten? München // 5.35 rechts: verändert nach IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis // 5.36: Rosal Eckslein // 5.36 unten + 5.37 oben: MFH-Hamburg // 5.37 unten: N&S, Aufnahme vom 8. Januar 1998, Internetquelle [http://visibleearth.nasa.gov/view\\_detail.php?vid=542](http://visibleearth.nasa.gov/view_detail.php?vid=542) // 5.38 links oben: Ární Friðriksson: [http://de.wikipedia.org/wiki/index.php?title=Date:Eya\\_fjalajökull-April-17.JPG&filetimestamp=20100419093800](http://de.wikipedia.org/wiki/index.php?title=Date:Eya_fjalajökull-April-17.JPG&filetimestamp=20100419093800) // 5.38 links Mitte: N&S, Internetquelle <http://data.giss.nasa.gov/govis/tempographs/> // 5.38 links unten: by Dave Harlow, Geological Survey Photograph, the June 12, 1991 eruption column from Mount Pinatubo taken from the east side of Clark Air Base, U.S. // 5.38 rechts unten nach H.-U. Schmike, (2008) Vulkanismus. Darmstadt // 5.39: HOStern<sup>4</sup> // 5.39 oben: IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis // 5.39 rechts: N&S: [http://www.wisconsinlogs.de/wbogs/gallery/16385\\_jul2010a.jpg](http://www.wisconsinlogs.de/wbogs/gallery/16385_jul2010a.jpg) // 5.40: Christine Becker<sup>4</sup> // 5.40 Mitte links: Paul Cowan<sup>4</sup> // 5.40 links unten: germanwatch e.V. (2010) Globaler Klimawandel. Berlin // 5.40 rechts unten: nach Angaben Internationaler Wissenschaftsrat Regenerative Energien (IWR) 2005, 2010 // 5.41 Mitte: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (2010) Topos Geo/Geophysikforschung 2010 // 5.42: Jouni<sup>4</sup> // 5.43: germanwatch e.V. auf der Grundlage der 'Abrild Map of Tipping Points in Climate Change' von Prof Hans Joachim Schellnhuber, verändert // 5.44 links unten: H. Grobe, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) // 5.44 unten rechts: IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report // 5.45 oben: VOR-Werbeagentur // 5.45 rechts oben: André Andreev, *SMUL* // 5.46 oben: Sachsenamt // 5.46 unten + 5.47 links oben: S. Köpstein, *SMUL* // 5.47 rechts: verändert nach H.-J. Barth (2002) Klima. Eine Einführung in die Dynamik der Atmosphäre. Paderborn // 5.48: nach Heiko Paeth (2005) Klimasimulationen mit Computermodellen. In: Einard Friedrich-Verlag (Hrsg.) Geographiehefte Klimawandel. Hannover, Heft 24/242 // 5.49: MFH-Hamburg // 5.50: nach IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report // 5.51 Juni // 5.53 Mitte: SMUL // 5.53 unten: LULUG // 5.54-55: Landesstaatsverwaltung des Freistaates Sachsen // 5.54-55: Landesstaatsverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) // 5.56: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ (2009) Biodiversität. UFZ-Spezial. Leipzig // 5.57: Knippselne<sup>4</sup> // 5.58 unten: Uwe Jans Kahn<sup>4</sup> // 5.58-59: Sachsenamt // 5.60: SMUL // 5.60-61 oben: Angelé<sup>4</sup> // 5.60 unten: Ecko<sup>4</sup> // 5.62: oben links: Edwin<sup>4</sup>; rechts: Sonnamanga Fabro<sup>4</sup> // 5.62: nach Jendritzky (1998) Gesundheitsrisiken durch Klimaänderungen. In: Geographiehefte Klimawandel. Heft 24/242, S. 15 // 5.63 links: Prof. Dr. Peter Höpfe (2005) Malaria und Gelbfieber in Deutschland? Geophysikalische Forschung, Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft München // 5.63: Maria Lanzaster<sup>4</sup> // 5.64: DeRose, [www.rofola.de/](http://www.rofola.de/) // 5.65: Umweltministerium Baden-Württemberg (2008) Flächenverbrauch. Stuttgart 2

überarbeitete Auflage // 5.65 unten: Altriss J. Kopf<sup>4</sup> // 5.67 links: IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis; IPCC (2007) Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen // 5.67 links oben + links unten: IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis // 5.67 rechts oben: [www.photoscape.de/](http://www.photoscape.de/) // 5.69 rechts oben: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie GNU-Lizenz für freie Dokumentation, Version 1.2 // 5.68, 5.69 + 5.70 links: [www.photoscape.de/](http://www.photoscape.de/) // 5.70 rechts nach IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report // 5.71 Kappeldesign.de<sup>4</sup> // 5.72 + 5.73: SMUL // 5.74: Sächsische Energieagentur GmbH – SAENA // 5.75 links oben: Fainer Sturm<sup>4</sup>; Mitte links: Rosal Eckslein<sup>4</sup>; links unten: Margot Kessler<sup>4</sup>; Mitte rechts: SMUL // 5.76: SAENA // 5.77-78: SMUL // 5.79: SABNA // 5.80: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2004–2006 // 5.81 oben: BkIran: [mjb\\_protocols\\_participation\\_map\\_2009.png](http://mjb_protocols_participation_map_2009.png) // 5.81 unten: MonkeyBusiness / Shorstop.eu // 5.82: S. Fainerstort, H. J. Schellnhuber (2007) Der Klimawandel. München, 6. Auflage // 5.83 oben: BMU (2010) Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2009: Grafiken und Tabellen. // 5.85 oben rechts: SAENA // 5.85 oben links + unten: Fainer Sturm<sup>4</sup> // 5.86 oben und Mitte rechts: [www.photoscape.de/](http://www.photoscape.de/); 5.86 Mitte links: SMUL // 5.87 unten: Stephanie Hotthälger<sup>4</sup> // 5.87, 5.88: Agentur für Erneuerbare Energien // 5.89 oben: UBA // 5.89 Mitte links: KlimaNet, Unterrichtsmodell Stromerzeugung // 5.89 unten: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) // 5.89 Mitte oben: Umweltbundesamt // 5.90 oben links: SAENA // 5.90 oben rechts: Verband Angewandter Thermografie e.V. (VATH) // 5.91 SMUL // 5.92: BildungsCenter e.V. (Hrsg.) (2010) KlimaBild. Berlin // 5.92 oben rechts: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz; Essen für den Klimaschutz. München // 5.93 oben links: [www.forum-foer-land.de/](http://www.forum-foer-land.de/) // 5.93 oben Mitte: Uta Dohlerberg<sup>4</sup> // 5.93 Mitte: S.Hotthälger<sup>4</sup> // 5.93 rechts: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz; Essen für den Klimaschutz. München // 5.94 links: epole/[www.photoscape.de/](http://www.photoscape.de/); 5.94 Mitte: Abrecht, *Ärmd<sup>4</sup>* // 5.94 unten links: Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmen e.V. // 5.94 rechts oben: LULUG // 5.95 links: laboran/[www.photoscape.de/](http://www.photoscape.de/); 5.95 Mitte: Fainer Sturm<sup>4</sup> // 5.95 oben links: zusammengestellt nach Jan Krüger und Martin Dreier<sup>4</sup>; Quarks & Co. Westdeutscher Rundfunk 2001 // 5.95 unten rechts: LULUG // 5.96: KlimaNet, Unterrichtsmodell Stromerzeugung // 5.96 rechts: [photoscape.de/](http://photoscape.de/) // 5.97: SMUL // 5.98: Heide Schröder // 5.100 oben: Jörg Matschulla<sup>4</sup>; 5.100 unten: DEU // 5.101 oben: Christian Behre // 5.101 rechts: LULUG // Umschlag Rückseite: Dresdner Morgenpost vom 04.05.2010 // „Klimawandel – Klimawandel“; Foto: Dr. Jörg Matschulla, TU Bergakademie Freiberg

<sup>4</sup> [www.pixid.de](http://www.pixid.de)

## LITERATURVERZEICHNIS UND INTERNETQUELLEN

### KLIMA UND KLIMAWANDEL

Sächsische Klima im Wandel – Sind wir schon mit dem Weg? S.4-5; Reinhard Hoffmann (2006) Klimawandel. In: Einard Friedrich Verlag (Hrsg.) Geographiehefte Klimawandel. Hannover, Heft 24/242; Helga Kromp-Kolb und Herbert Formayer (2005) Schwarzbuch Klimawandel. Salzburg; Frankfurter Neue Presse, [www.rhein-main.net/stwms/istp.php?page=ip2\\_news\\_artikel&id=302194](http://www.rhein-main.net/stwms/istp.php?page=ip2_news_artikel&id=302194); innovations-report Forum für Wissenschaft, Industrie und Wirtschaft, Artikel vom 22.08.2001 [www.innovations-report.de/html/berichtmedizin\\_gesundheit/bericht44597.html](http://www.innovations-report.de/html/berichtmedizin_gesundheit/bericht44597.html); 5.7-15: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.) (2005) Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick 2005. Dresden; SMUL (Hrsg.) (2008) Sachsen im Klimawandel. Eine Analyse. Dresden; Sächsische Staatskanzlei (Hrsg.) (2004) Sachsen. Die Fakten. Dresden; Andreas Friedrich Planet Erde in den Westsejahren. Leipziger Volkszeitung; Magazin, 05./06.08.2008 Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LULUG) Klimadiagnose Sachsen, Internetquelle: [www.umwelt.sachsen.de/de/ww/umwelt/milg/hiigh/ternet/ut/Haerm-Klima\\_265.html](http://www.umwelt.sachsen.de/de/ww/umwelt/milg/hiigh/ternet/ut/Haerm-Klima_265.html), abgerufen: 01.09.2009 W. Kändler, U. MelienIn (2010) LULUG, Klimaentwicklung in Sachsen – unsere Aussichten für das 21. Jahrhundert // 5.14-18: SMUL (Hrsg.) (2005) Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick 2005. Dresden; LULUG; Klimaprognose, Internetquelle: [www.umweltsachsen.de/hiigh/ut/Haerm-Klima\\_268.html](http://www.umweltsachsen.de/hiigh/ut/Haerm-Klima_268.html), abgerufen: 18.08.2009 Wilfried Kötler, Nils Peske, Udo MelienIn (LULUG) Juni 2010 Synopsebeobachter und projizierter Klima für Sachsen auf der Basis deutscher statistischer und dynamischer Regionalmodelle (RSKUM) Udo MelienIn, LULUG: [www.umweltsachsen.de/umwelt/Mima/1287.htm](http://www.umweltsachsen.de/umwelt/Mima/1287.htm), abgerufen: 20.08.2010 Technisches Hilfswerk Sachsen [www.thw-sue.de/](http://www.thw-sue.de/); Dr.-Ing. Ralf Böhm: [www.boehm.wandekarten.de/themen/15\\_klimatrend\\_hochwasser\\_2010\\_1.html](http://www.boehm.wandekarten.de/themen/15_klimatrend_hochwasser_2010_1.html), abgerufen: 20.08.2010 Sächsische Zeitung Golitz 4.5.10; Dresdner Morgenpost 4.5.10; Dresdner Morgenpost 25.02.07

### Die Wissenschaft vom Wetter:

S. 20-21 Peter Göbel (2004) Wetter und Klima. Köln; Valeri Goldberg (2006) Die Entwicklung von Wetterbeobachtung und Wettervorhersage von der Antike bis zur Gegenwart. Dresden

### Wetter und Klima – völlig da der Unterschied?

S. 22-24 Meyers Lexikonredaktion (Hrsg.) (1998) Wien/ankoniert das; Wetter und Klima. Mannheim; Ausgabe aus dem Wetterbericht der Freien Universität Berlin vom 15.05.2006 und 07.05.2006 gekürzt; Valeri Goldberg, Technische Universität Dresden, Professor für Meteorologie, Thorand, Verlag Das Beste (Hrsg.) (1998) Wetter und Klima erkennen und verstehen. Stuttgart

### Phänologie

S. 25-27: Garten- und Technik, Phänologische Kalender, Artikel vom 1.01.2006 [www.garten-technik.de/News/2006/01/Phaenologische\\_Kalender\\_Jahreszeitenrhythmus\\_der\\_Natur/](http://www.garten-technik.de/News/2006/01/Phaenologische_Kalender_Jahreszeitenrhythmus_der_Natur/); Naturdetektive 2006: Phänologie, Internetquelle: [www.naturdetektive.de/2006/01/2871.php](http://www.naturdetektive.de/2006/01/2871.php), abgerufen: 26.07.2006; Frank-M. Chmielewski, 13.05.2005, Hamburger Bildungsserver, GLOBE Phänologische Gärten, Internetquelle: <http://hamburger-bildungsserver.de/globe/downloads/Garten.pdf>, abgerufen: 25.07.2006; Mitteldeutscher Rundfunk (MDR), Ansicht des Örtlichen Rechts, April 2005: Phänologie, Internetquelle: [www.mdr.de/mrd/rundfunk/191853.html](http://www.mdr.de/mrd/rundfunk/191853.html); Gundil Schäd, Dezember 2003 Phänologie-Journal Nr. 21, Deutscher Wetterdienst Essen (DWD)

### Klimasystem und globaler Klimawandel

S. 28-43 IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis. Cambridge, New York; IPCC (2007) Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin, Wien; Wikipedia, Die freie Enzyklopädie Globalwärmung, <http://de.wikipedia.org/wiki/Globalw%C3%A4rmung>; Dieter Kasang, Hamburger Bildungsserver: B Nifq Internetquelle: [www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima](http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima), abgerufen: 14.08.2006; Das Klimasystem, Der Ocean, Internetquelle: [www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima](http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima), abgerufen: 10.09.2006; SMUL (Hrsg.) (2009) Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick 2009. Dresden; Mojib Latif (2004) Klima. Frankfurt am Main; Umweltbundesamt (Hrsg.) (2004) Globaler Klimawandel. Berlin; Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung (1998) Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser. Berlin, Heidelberg, Jahresgutachten 1997; Max-Planck-Institut für Meteorologie Potsdam: Die globale Ozeanzirkulation. Hamburg; WAF Schwab (Hrsg.) (2004) Klima. Zürich; Wikipedia, Die freie Enzyklopädie: Vulkan Eyja-fjalajökull, [http://de.wikipedia.org/wiki/Vulkan:\\_Eyja-fjalajökull](http://de.wikipedia.org/wiki/Vulkan:_Eyja-fjalajökull); Internationale Wertschöpfung Regenerative Energien (IWR), Internetquelle: [www.iwr.de/news.php?id=16510](http://www.iwr.de/news.php?id=16510), abgerufen: 24.08.2010 PIK Potsdam: Kipppunkte im Erdsystem: Wie stabil ist die Erde? Um-Welt // [www.pik-potsdam.de/infothek/kipppresse](http://www.pik-potsdam.de/infothek/kipppresse); S. Fainerstort & H. J. Schellnhuber 2007. Der Klimawandel. München, 6. Auflage; Einar Krüger, Jim W. Hall, Hermann Held, Richard Dawson, and Hans Joachim Schellnhuber (2009). Imprecise probability assessment of tipping points in the climate system. Proceedings of the National Academy of Sciences, Online Early Edition

### Klima schreibt Geschichte – Der Blick in die Vergangenheit

S. 44-47: Wdtfgang Gerber (2006) Globaler Klimawandel und seine möglichen natürlichen Ursachen. In: Einar Friedrich Verlag (Hrsg.) Geographiehefte Klimawandel. Hannover, Heft 24/242; Hans-Peter Müller und Bernd Stalhofer (2005) Klimaänderung. In: Westermann Verlag (Hrsg.) Praxis Geographie. Klimawandel. Braunschweig; Heft 5; Deutsches Museum, Zentrum Neue Technologien, München: Pollenanalyse, Internetquelle: [www.deutsches-museum.de/museum/Mima/Mimageschichte/letzter\\_besuch/pollenanalyse/index.html](http://www.deutsches-museum.de/museum/Mima/Mimageschichte/letzter_besuch/pollenanalyse/index.html), abgerufen: 07.08.2006

### Der Blick in die Zukunft – Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert

S. 48-51: Stefan Fainerstort; Hans Joachim Schellnhuber (2007) Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie. München, 6. Auflage; Mojib Latif 2003: Hitzerekorde und Jahrhundertkür. München; Max-Planck-Institut für Meteorologie (Hrsg.) (2008) Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert Hamburg, Internetquelle: [www.mpimet.mpg.de/mediam/gra\\_k/presses/klimaprojektionen2006.pdf](http://www.mpimet.mpg.de/mediam/gra_k/presses/klimaprojektionen2006.pdf), abgerufen: 03.08.2009 Dieter Kasang, Hamburger Bildungsserver, Klimamodelle, Internetquelle: [www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima](http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima), abgerufen: 25.08.2010 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2008) Einmal Zukunft und zurück. Arbeitsblatt Kann man die Zukunft ausrechnen? Berlin.

### WISSEN DES KLIMAWANDELS

#### Das Gesetz von Ursache und Wirkung – Die Folgen der Klimaänderungen in Sachsen

S. 51-68 SMUL (Hrsg.) (2005) Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick 2005. Dresden; Dieter Kasang, Hamburger Bildungsserver: [www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima](http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima), abgerufen: 25.08.2010 Nise 5. (2001) Konsequenzen globaler Klimaänderungen für die biologische Vielfalt. In: NINE-Berichte 15, Heft 2, Schneeveränderung; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ (2009) Biodiversität. UFZ-Spezial. Leipzig; Andreas Friedrich: Planet Erde in den Westsejahren. Leipziger Volkszeitung; Magazin, 05./06.08.2008 Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ (2008) In Sachsen Klimawandel. UFZ-Spezial. Leipzig; SMUL (Hrsg.) (2008) Klimawandel und Landwirtschaft. Dresden; SMUL (Hrsg.) (2009) Sachsen im Klimawandel. Dresden; SMUL Internetquelle:

<http://www.umweltsachsen.de/umwelt/wasser/index.html>; Landesstaatsverwaltung des Freistaates Sachsen [www.laestaatsverwaltung.sachsen.de/Ministerium\\_für\\_Umwelt\\_und\\_Natur\\_schutz](http://www.laestaatsverwaltung.sachsen.de/Ministerium_für_Umwelt_und_Natur_schutz); Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010) Klimakommen mit den Klimawandel. Düsseldorf; Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2008) Klima im Wandel. Umweltjournal. Mainz, H. 51 Siegfried Stoboda (2008) Folgen des Klimawandels in Sachsen. Annaburger Klimateage 2008, Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg, Sachsenamt 2010; Umweltministerium Baden-Württemberg (2008) Flächenverbrauch. Stuttgart 2, überarbeitete Auflage Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2010) Handbuch Stadtklima. Düsseldorf; **Klimawandel – Ein Experiment in Umweltschutz**; 5. 66-71 IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis. Cambridge; IPCC (2007) Klimaänderung 2007: Synthesebericht Wembley; IPCC (2007) Climate Change 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Berlin, Wien; Max-Planck-Institut für Meteorologie (Hrsg.) (2005) Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert Hamburg, Internetquelle: [www.mpimet.mpg.de/mediam/gra\\_k/presses/klimaprojektionen2006.pdf](http://www.mpimet.mpg.de/mediam/gra_k/presses/klimaprojektionen2006.pdf), abgerufen: 03.08.2009 Dieter Kasang, Hamburger Bildungsserver; Meerespiegelanstieg, Internetquelle: [www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima](http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima), abgerufen: 14.08.2006, [www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima](http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.php?id=site-themen:klima), abgerufen: 13.08.2010

### WIE ERRETET DIE WELT? – UNSERE HANDLUNGSMÖGLICHKEITEN

#### Es gibt viel zu tun – Sächsische Klimaschutzpolitik

S. 72-9: SMUL (Hrsg.) (2009) Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick 2009. Dresden; SMUL (Hrsg.) (2004) Klimaschutz in Sachsen Ihre Energie zählt. Dresden; SMUL (Hrsg.) (2009) Aktionsplan Klima und Energie des Freistaates Sachsen. Dresden; S. Fainerstort & H. J. Schellnhuber (2007) Der Klimawandel. München, 6. Auflage; Umweltbundesamt (2005) Weltweit aber gerecht: die Zukunft nach den Kyoto-Praktik, Internet: [www.umweltbundesamt.de/inb-presses/2005/p005-005.htm](http://www.umweltbundesamt.de/inb-presses/2005/p005-005.htm), abgerufen: 25.08.2006; UBA, Internet: [www.klimaschutz.de/ma.html](http://www.klimaschutz.de/ma.html), abgerufen: 29.08.2006; UBA, Daten zur Umwelt, [www.umweltbundesamt.de/daten-zur-umwelt/umwelt/fahrplan-uba](http://www.umweltbundesamt.de/daten-zur-umwelt/umwelt/fahrplan-uba); UBA, Energie sparen im Haushalt, [www.umweltbundesamt.de/publikationen/tpd/H/8.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/tpd/H/8.pdf); UBA (2009) Daten zum Verkehr; Martin Dreier, 2001, Westdeutscher Rundfunk (WDR), Quarks & Co. Energieerkennt Brennstoffe, Internet: [www.quarks.de/energie/07.htm](http://www.quarks.de/energie/07.htm), abgerufen: 28.08.2006; Agrar-Koordinat (Hrsg.) (2010) Agrarische Klimawandelarbeit. Hamburg; SMUL (Hrsg.) (2005) Passivhäuser in Sachsen. Dresden; Sächsische Energieagentur GmbH-SAENA: [www.sachsen-energie.de/Startseite/Erneuerbare\\_Energien\\_FS.html](http://www.sachsen-energie.de/Startseite/Erneuerbare_Energien_FS.html); Wikipedia, Die freie Enzyklopädie: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kyoto-Protokoll>; <http://de.wikipedia.org/wiki/Passivhaus>; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) (2004) Durchblick: Was hat unser Alltag mit der Umwelt zu tun? Berlin; BMU: [www.erneuerbare-energien.de/ninh/4/2366/5485/](http://www.erneuerbare-energien.de/ninh/4/2366/5485/); BMU (Hrsg.) (2010) Innovation durch Forschung. Jahresbericht 2009 zur Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien. Berlin; BMU (2008) Klimaschutz und Klimapolitik. Berlin; BMU, Emissionenhandel: [www.deutsche-emissionshandel/kurzinfo/4016.php](http://www.deutsche-emissionshandel/kurzinfo/4016.php), abgerufen: 25.08.2006; Christian Merler: [www.direktnet-stb.de/](http://www.direktnet-stb.de/); Umweltministerium Baden-Württemberg (2008) 15°C – Klimaschutz. Stuttgart; Sächsische Energieagentur GmbH – SAENA: [www.sachsen-energie.de/umwelt/umwelt/natur/klima/klima.html](http://www.sachsen-energie.de/umwelt/umwelt/natur/klima/klima.html); Internetquelle: <http://www.epo.fr/da/doc/downloading/0702modstomsparsuleklimawebwpd.pdf>; BildungsCenter e.V. (Hrsg.) Begleitet Klimateage Berlin; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz; Essen für den Klimaschutz. München; SMUL Internet: [www.klima.sachsen.de/umweltministerium-baden-wuerttemberg](http://www.klima.sachsen.de/umweltministerium-baden-wuerttemberg) (2005) Klimaschutz. Stuttgart

### IN KLIMA IN DER DISKUSSION

#### Alles nur heiße Luft?

S. 98-101 Prof. Stefan Fainerstort (2003) PIK-Potsdam: Rottke Kurven, Dünne Daten, [www.pik-potsdam.de/stein/Anmerkungen.html](http://www.pik-potsdam.de/stein/Anmerkungen.html); Urs Neu (2004) Die Inszenierung des Klimaxpimenismus. In: Schweizer Monatshefte. Zürich, Heft 3; Prof. Jörg Matschulla (2010) Klimawandel-Klimaschwindel? Freiberg; S. Fainerstort & H. J. Schellnhuber (2007) Der Klimawandel. München, 6. Auflage; Dr. Ulrich Berner; These Kyoto, [www.konrad-fischer.institute/7th/65.htm](http://www.konrad-fischer.institute/7th/65.htm); R. Timothy Patterson. These Sonne, [http://de.wikipedia.org/wiki/Tim\\_Patterson](http://de.wikipedia.org/wiki/Tim_Patterson); Dr. Wdtfgang Thone: These Klimaverschönerung, [www.uni-bielefeld.de/uni-koelln/p07h15.pdf?search=K22Nimawerschw%3F&B6unig%20Mf%20C%3F&B6er%22](http://www.uni-bielefeld.de/uni-koelln/p07h15.pdf?search=K22Nimawerschw%3F&B6unig%20Mf%20C%3F&B6er%22); Umweltbundesamt (UBA): Klimaänderung: Festhalten an der vorgefassten Meinung? Wie stichhaltig sind die Argumente der Skeptiker? Internetquelle: [www.umweltbundesamt.de/publikationen/tpd/1/2694.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/tpd/1/2694.pdf); Skeptiker fragen, Wissenschaftler antworten: Häufig vorgebrachte Argumente gegen den anthropogenen Klimawandel, Stand 2005, Internetquelle [www.umweltbundesamt.de/Mima/schutz/Mimaanderungen/bg/skeptiker.htm](http://www.umweltbundesamt.de/Mima/schutz/Mimaanderungen/bg/skeptiker.htm); Prof. Jörg Matschulla, TU Bergakademie Freiberg, Prof. Hans-Joachim Behre, Professor für Meteorologie TU Dresden; Wilfried Kötler, Udo MelienIn LULUG; Prof. Dr. H. J. Schellnhuber, PIK-Potsdam