



ZAMG-STELLUNGNAHME ZUM KLIMAWANDEL im November 2010

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) nimmt die Klimakonferenz der Vereinten Nationen in Cancún, Mexiko (COP16/CMP6 vom 29.11.–10.12.2010) zum Anlass, zum Thema Klimawandel Stellung zu nehmen.

Um die öffentliche Diskussion und die wissenschaftliche Faktenlage auf diesem Gebiet einander näher zu bringen, bemühen wir uns, beide im Spektrum von „wissenschaftlich gut belegt“ bis „unsicher“ zu diskutieren und klarzustellen.

Unsicherheit der wissenschaftlichen Ergebnisse verstehen wir dabei nicht als Anlass zum Abwiegen oder Zaudern sondern als Herausforderung für die Forschung und als wichtige Grundlage für einen rationalen Umgang mit Unsicherheit in der öffentlichen und politischen Diskussion.

Wir konzentrieren uns in unseren Aussagen auf die Themenfelder, in denen unsere Hauptexpertise liegt. Diese ist das Ergebnis eigener Forschungsaktivitäten sowie der Zusammenarbeit auf nationaler und internationaler Ebene und sie wird durch die ständige Beobachtung des aktuellen Standes der Wissenschaft qualitativ abgesichert.

Die Stellungnahmen auf den folgenden Seiten fassen den breiten Bogen zusammen, der in unserem neuen Informationsportal Klimawandel gespannt ist (<http://www.zamg.ac.at/klimawandel>).

- 1) Klimaantriebe** (was verursacht Klimawandel)
- 2) Fakten aus Vergangenheit und Gegenwart** (was hat sich verändert)
- 3) Abschätzungen der Klimazukunft** (was wird sich verändern)

E-Mail-Kontakt: klimaforschung@zamg.ac.at

1) URSACHEN DES KLIMAWANDELS

- Das Klima der Erde ist einem ständigen Wandel unterworfen, der durch ein Zusammenspiel von **Antrieben und Reaktionen** des Klimasystems verursacht wird.
- **Positive Rückkopplungen** im Klimasystem **verstärken** die Antriebe, **negative Rückkopplungen stabilisieren** sie. Ein Beispiel für eine positive Rückkopplung liegt an der stärkeren Reflexion der Sonneneinstrahlung an Eis und Schnee im Vergleich zu aperem Untergrund. Wenn somit Eis- und Schneeflächen durch eine anfänglich geringfügige Erwärmung reduziert werden, kann sich diese Erwärmung zu einer bedeutenden hochschaukeln. Ein Beispiel für eine negative Rückkopplung ist die mit zunehmender Temperatur stark anwachsende Wärmeabstrahlung der Erde ins Weltall.
- Ozeanströmungen wie z.B. der „Golfstrom“ **verlagern großräumig Wärmeenergie** innerhalb des Klimasystems. Aktuelle Meldungen über eine rasche Verringerung dieses Wärmeförderbandes im Nordatlantik entbehren jeder Grundlage. Langfristig ist als Folge weiterer globaler Erwärmung eine moderate Reduktion des Wärmetransports in Richtung Nordwesteuropa möglich, die aber keineswegs aus der Erwärmung eine Abkühlung machen kann – auch nicht an den potentiell am stärksten betroffenen Küsten Englands, Irlands, Schottlands und Norwegens.
- Die aus den Antrieben resultierende Variabilität im Klimasystem der Erde spielt sich auf einem **weiten Bogen von zeitlichen und von räumlichen Skalen** ab. Diese reichen von der Wanderung der Kontinente (Jahrmillionen bis zig-Millionen) über astronomische Zyklen der Erdbahn (Jahrtausende bis Jahrhunderttausende) bis zu der vergleichsweise kurzen Skala von Jahrzehnten bis Jahrhunderten, die für die Menschheit jedoch am wichtigsten ist.
- Zurzeit sind vor allem **zwei natürliche und zwei menschlich verursachte (anthropogene) Antriebe** für Klimavariationen ausschlaggebend:
- **Natürlich:** Schwankungen der **Sonnenaktivität** und explosive **Vulkanausbrüche**. Beide beeinflussen die kurzweilige Energie-Einstrahlung ins Klimasystem der Erde – die vulkanischen Aerosole (feste und flüssige Teilchen) wirken in Summe abkühlend.

Zusammen waren diese beiden **natürlichen** Klimaantriebe die wichtigsten für die globale Klimaentwicklung des letzten Millenniums bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts.

- **Anthropogen:** Zunahme der **Treibhausgase**, die die Wärmeabstrahlung der Erde ins Weltall vermindern und der **Aerosole**, die (wie die vulkanischen) in Summe die kurzweilige Einstrahlung von der Sonne abschirmen. Die Konzentration von CO₂ (Kohlendioxid) steigt durch die schnelle Verbrennung von fossilem Kohlenstoff (Kohle, Erdöl, Erdgas), CH₄ (Methan) durch intensive Rinderzucht, Nassfeldkulturen (Reis).

Ab etwa 1950 dominieren die anthropogenen Klimaantriebe. Zunächst maskierte die Luftverschmutzung über den abkühlenden Aerosoleffekt vor allem in Europa und Nordamerika den im Hintergrund bereits wirksamen anthropogenen Treibhauseffekt. Ab etwa 1980 trat der Treibhauseffekt deutlich in den Vordergrund – und wird es unserer Einschätzung nach auch in den kommenden Jahrzehnten bleiben.

ZUSAMMENFASSUNG: nicht „entweder-oder“ sondern „sowohl als auch“

- **Falsch sind beide Extremstandpunkte**, die behaupten, es gäbe ausschließlich natürliche bzw. nur anthropogene Antriebe.
- **Richtig ist die Existenz beider:**
- der in den letzten Jahrzehnten stärker gewordene stetige Erwärmungstrend kommt von den Treibhausgasen

- natürliche Antriebe und interne Wechselwirkungen überlagern den anthropogenen Langfristtrend mit saisonalen bis dekadischen Schwankungen

2) KLIMAFAKTEN AUS VERGANGENHEIT UND GEGENWART

Das Gesamtbild der Klimatrends und Klimaschwankungen der Vergangenheit und Gegenwart ist heterogen. Es ist wichtig, zwischen **langjährigen Trends und kurzfristigen Schwankungen** zu unterscheiden. Vor Verallgemeinerungen wird gewarnt. Wir greifen hier kurz einige zentrale Aussagen heraus. Schwerpunkt ist Österreich und der Alpenraum, für den qualitativ gute (homogenisierte) Klimareihen vorliegen.

- **wissenschaftlich gut belegt:** sämtliche Klimazeitreihen zeigen eine starke Kurzfristvariabilität, die die Langfristtrends überdeckt und damit schwer erkennbar macht → somit sagt ein kalter oder warmer Winter, ein heißer Sommer, ein Hochwasser nichts aus über „den Klimawandel“, der sich in den Langfristtrends äußert.
- **Wissenschaftlich gut belegt:** Drei Haupt- Klimazustände im letzten Millennium: warmes Hochmittelalter – kleine Eiszeit – aktuelle Warmzeit. Die aktuelle Warmzeit wächst gerade über das Niveau des Hochmittelalters hinaus.
- **wissenschaftlich gut belegt:** globaler Temperaturanstieg 1900-2009 von +0.8°C, in Österreich deutlich stärker (+1.5 bis +1.6°C)
- **wissenschaftlich gut belegt:** zweistufiger Anstieg der Temperatur: stark bis etwa 1950, dann Stagnation bis leichte Abkühlung, seit etwa 1980 wieder sehr starke Erwärmung. Aktuelle Erwärmung 1980-2009: global +0.5°C, Österreich Täler und Ebenen +1.5°C, Österreich Berge +1.2°C
- **wissenschaftlich gut belegt:** sehr ähnlicher Verlauf der Sonnenscheindauer mit einer Zunahme 1980-2009 in Österreich von +12% bis 15% (bezogen auf das Mittel des 20. Jahrhunderts). Im gesamten Großraum Alpen herrschen ähnliche Sonnenscheintrends, global sind derartige Daten kaum vorhanden.
- **Hypothese:** Die regionale Zunahme der Sonnenscheindauer ist, zusammen mit Umstellungen der regionalen Druck- und Windsysteme, mit verantwortlich für die im Vergleich zum globalen Mittel stärkere Temperaturzunahme im Alpenraum.
- **wissenschaftlich gut belegt:** Beim Niederschlag gibt es im Alpenraum und auch in Österreich unterschiedliche bis gegenläufige Niederschlagstrends. Langfristig (seit dem Jahr 1800) nimmt der Niederschlag nordwestlich des Alpenbogens zu (etwa 10-15% seit 1800), südöstlich des Alpenbogens ab (10-15% seit 1800).
- **wissenschaftlich gut belegt:** eine Fülle von kürzeren bis mittellangen und auch saisonal unterschiedlichen Abweichungen, die den linearen Langfristtrends überlagert sind – besonders beim Niederschlag. So hat sich z.B. im Raum Wien der seit 1940 andauernde Rückgang des Niederschlages seit 1980 in einen markanten Wiederanstieg gewendet.
- **Unsicher bis falsch:** beinahe sämtliche Aussagen über Zunahmen der Niederschlagsextremwerte – besonders für größere Gebiete.
- **wissenschaftlich gut belegt** hingegen ist eine Zunahme der heißen (z.B. Tropentage) und Abnahme der kalten (z.B. Frosttage) Extremwerte.
- **wissenschaftlich gut belegt:** Generell war das Klima Mitteleuropas im (kälteren, kontinentaleren) 19. Jahrhundert variabler als im (wärmeren, ozeanischeren) 20. Jhdt.
- **wissenschaftlich gut belegt:** Die großräumigen Sturmereignisse haben in West- Nord- und Mitteleuropa seit dem späten 19. Jahrhundert nicht zugenommen. Herausragende Einzelereignisse in den letzten Jahren sind ähnlich stark und häufig auch in früheren Jahrzehnten aufgetreten.
- **wissenschaftlich gut belegt:** Die Alpengletscher sind seit 1850 (mit 2 kleineren Vorstößen um 1920 und 1980) im starken Rückzug, dessen größerer Teil bis 1950 natürlichen Ursprungs war. Erst der starke neuerliche Rückgang seit 1980 ist überwiegend anthropogen.

3) KLIMAZUKUNFT

Wie wird das Klima im 21. Jahrhundert aussehen? Zur Beantwortung dieser Frage stehen ausschließlich die Ergebnisse aus Modellrechnungen zur Verfügung. Die Fortschreibung vergangener Trends ist keine wissenschaftliche Methode.

Klimamodelle sind physikalisch/mathematische Modelle mit denen auf Großrechenanlagen das globale Klima simuliert werden kann. In verschiedenen Experimenten mit diesen Modellen wird überprüft, ob und wie sich das Klima unter Annahme unterschiedlicher anthropogener Einflussfaktoren verhält.

Die Abschätzung der zukünftigen anthropogenen Klimaantriebe (Emissionsszenarien) beruht auf Berechnungen, die sich auf demographische, wirtschaftliche, soziologische, politische Modellvorstellungen über die Entwicklung der menschlichen Zivilisation im 21. Jahrhundert stützen.

Unberücksichtigt bleiben dabei notwendigerweise die zukünftigen Entwicklungen der natürlichen Faktoren (Vulkane und Sonnenintensität), da man für sie keine physikalischen Vorhersagen machen kann.

- **Klimamodelle:** Die globalen Ergebnisse der verschiedenen Modelle, die die Abschätzung des zukünftigen Klimas in Zahlen fassen, sind im großräumigen Maßstab grundsätzlich ähnlich. Unterschiede existieren in den räumlichen Mustern sowie in der Stärke der Änderungen. Die Unsicherheit der Modellaussagen ist größer, wenn es um kleinräumige und seltene Effekte und insbesondere um solche des Niederschlages geht.
- **Die globale Mitteltemperatur** wird sich in diesem Jahrhundert um 1.8°-4° erhöhen. Die Stärke der Änderung hängt vom verwendeten Emissionsszenario ab und ist ein Mittelwert aus allen in IPCC 2007 verwendeten Modellen (sog. Multi-Model Ensemble).
- **Wasserdampf:** ist ein wirksames Treibhausgas, dessen atmosphärische Konzentration sich mit ansteigender Temperatur erhöht. Der wärmende Effekt anderer Treibhausgase wie CO₂ wird so verstärkt (positives Feedback). 66% des erwarteten Temperaturanstiegs bis 2100 werden diesem Effekt zugeschrieben.
- **Verhindern:** Selbst wenn die Treibhausgaskonzentrationen auf den Werten des Jahres 2000 konstant gehalten werden könnten, würde die Lufttemperatur in den nächsten Jahrzehnten weiter ansteigen. Der Grund dafür ist vor allem die thermische Trägheit der Ozeane.
- **Regionale Muster:** Für die Zukunft haben wir ein klares Bild über die mögliche Temperaturänderung. Globale Klimaszenarien für den Niederschlag zeigen dagegen sehr differenzierte Änderungen, die sich je nach Region und Jahreszeit unterscheiden.
- **Unsicherheit:** Globale Klimamodelle haben Schwächen in der Berechnung des Niederschlages. Zurzeit sind deshalb Aussagen über Niederschlagsänderungen aus diesen Modellen noch mit Unsicherheiten behaftet.

Besonders in Europa unterscheiden sich z.B. die Trends der regionalen Niederschlagsänderungen in Abhängigkeit von der verwendeten Methode zur Berechnung des zukünftigen Klimas.

Fortschritt des Forschungsstandes: Ein Teil der noch vorhandenen Unsicherheiten geht auf die auch in Großrechenanlagen (noch) zu geringe Kapazität und Rechengeschwindigkeit zurück, das Klimasystem wirklichkeitsnah simulieren zu können. Hier ist jedoch Optimismus angebracht, und mit Verbesserungen ist mit jedem neuen Modelllauf zu rechnen – das gilt ganz besonders für regionale Modelle im komplizierten Alpenraum

Welche Änderungen sind bei uns zu erwarten?

Globale Klimamodelle haben für regionale bis lokale Entwicklungen speziell im komplizierten Gelände des Alpenraums nur begrenzte Aussagekraft. Zum Herunterskalieren („Downscaling“) auf höhere räumliche Auflösung werden verschiedene Techniken verwendet, die zurzeit noch zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. **Die Unsicherheit der Aussagen ist größer, wenn es um kleinräumige und extreme Effekte und insbesondere um solche des Niederschlages geht.** Die folgenden Aussagen sind unter diesem Gesichtspunkt zu sehen und sind dementsprechend von sicherer (oben) bis unsicherer (unten) gereiht. **Sie sind als vorläufiger „Stand der Technik“ zu verstehen, der sich in rascher Entwicklung befindet.**

- **Temperatur:** In Europa wird die Temperatur in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts im Mittel um 1°-3° zunehmen. Bis 2100 ist in den extremen Emissionsszenarien von bis zu 5° auszugehen. Damit ist die Erwärmung in Europa etwas höher als im globalen Mittel.
- **Hitzewellen:** werden in Zukunft häufiger werden und länger andauern. Analog dazu werden Kältewellen seltener.
- **Stürme:** Eine aktuelle Studie der ZAMG erbrachte keine signifikanten Änderungen er Stürme im Alpenraum von 2001 bis 2050.
- **Neuschnee:** Der zu erwartende Temperaturanstieg im 21. Jahrhundert wird dazu führen, dass im Mittel Niederschlag häufiger in Form von Regen als in Form von Schnee fällt.
- **Schneedecke:** Der damit verbundene Anstieg der mittleren Schneefallgrenze sowie die verstärkte Schneeschmelze werden vor allem in mittleren Höhenlagen zu einer Verkürzung der winterlichen Schneedeckendauer führen, d.h. späterer Beginn und früheres Abschmelzen.
- **Schneereiche Winter:** Wegen der großen Änderung von Jahr zu Jahr von Niederschlag und Temperatur wird es trotz der langfristigen Abnahme der Schneehöhe und Schneedeckendauer auch in Zukunft in einzelnen Jahren kalte und schneereiche Winter geben – allerdings seltener als in der Vergangenheit.
- **Gletscher:** Die Gletscher Österreichs, die sich seit den 1980er Jahren in einer verstärkten Rückzugsphase befinden, werden weiter zurückschmelzen und sich stetig in höher gelegene Gebirgsregionen zurückziehen. Es ist zu erwarten, dass viele kleine Gletscher im Laufe des 21. Jahrhunderts völlig verschwinden, während große Gletscher mit hochgelegenen Nährgebieten (Pasterze, Gepatschferner...) ihre Größe stark verringern aber nicht verschwinden werden.
- **Gletscherspende:** Der Abflussbeitrag der Gletscher wird in den kommenden Jahrzehnten weiter zunehmen und etwa ab der Mitte dieses Jahrhunderts durch die Reduktion der Gletscherflächen wieder abnehmen. Der Rückzug der Gletscher stellt zwar eine große Veränderung des alpinen Landschaftsbildes dar, für die Wasserführung der größeren Flüsse hat er wegen der vergleichsweise geringen Größe der Österreichischen Gletscher nur in niederschlagsarmen und sehr heißen Sommern Bedeutung.
- **Niederschlag:** Im Winter werden die Niederschläge in Europa zunehmen, besonders im Norden. In den Sommermonaten wird vor allem im Mittelmeerraum mit starken Abnahmen der mittleren Niederschlagssummen gerechnet. Österreich liegt im kontinentalen Übergangsbereich zwischen Zu- und Abnahme. Bis 2050 wird eine 10%ige Zunahme der Winter-Niederschläge auf der Alpensüdseite und wenig Änderungen auf der Alpennordseite erwartet. Im Sommerhalbjahr kehrt sich dieses Muster um.
- **Extreme Niederschläge:** Eine aktuelle Studie der ZAMG erwartet in Österreich eine Erhöhung der Niederschlagsmengen bei extremen Ereignissen um 10-35%. Im Sommer (10-20%) gilt dies für ganz Österreich und im Winter speziell im Südosten und Osten. Es

besteht allerdings gerade hier noch große Unsicherheit und ein erhöhter Forschungsbedarf.