



## **Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.**

Kolloquium/Plenum am 14. April 2016 in Berlin

### **Klima und Menschheit**

#### **Kurzfassungen der Vorträge**

##### **Karl-Heinz Bernhardt: Klima und Menschheit im Wandel**

Im Anschluss an die Ausführungen zur Thematik Klima und Menschheit im Heft 1/2 der Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät (1994) werden neue Erkenntnisse zum Klimasystem vorgestellt und sein gegenwärtiger Zustand im regionalen und globalen Maßstab charakterisiert. Die flächendeckende satellitengestützte Überwachung ermöglicht eine Synopsis des gesamten Systems und seiner Zustands- und Prozessparameter, unter den letzteren besonders der globalen Strahlungsimbalance als einer wichtigen Kenngröße des derzeitigen Klimawandels, der sich in Wechselwirkung von (natürlichen und anthropogenen) externen Antrieben und systeminternen Schwankungen vollzieht.

Sein globaler Charakter trifft auf eine ebenfalls weltweit vernetzte Gesellschaft. Während in vergangenen Epochen der Menschheitsgeschichte Eingriffe in das Klimasystem durch Landnutzung, lokale Energie-, Partikel- oder gasförmige Emissionen vor allem lokale Auswirkungen hatten, wie sie einschließlich ihrer Folgen für menschliche Kulturkreise seit der Antike beschrieben worden sind, zeitigen entsprechende Aktivitäten seit der industriellen Revolution zunehmend regionale bis globale Konsequenzen.

Das betrifft insbesondere die Verbrennung von über Jahrmillionen in der Erdkruste angereicherten fossilen Kohlenstoffs binnen weniger Jahrzehnte. Die Auswirkungen dieses menschlichen Eingriffes als eines geologischen Faktors auf das globale Klima sind bei allen Unsicherheiten im Detail sichergestellt und nicht zuletzt durch die IPCC-Berichte (seit 1990) dokumentiert. Die Einsicht in solche Zusammenhänge und insbesondere in die Notwendigkeit zu ergreifender Maßnahmen wird allerdings dadurch erschwert, dass weltweite Folgen lokalen oder regionalen Handelns nicht sofort offensichtlich werden, zumal der Klimawandel vor Ort relativ schleichend erfolgt, nicht selten durch systeminterne Schwankungen verdeckt wird und zirkulationsbedingt auch vom globalen Muster abweichen kann.

Abschließend werden Gedanken zum weiteren Gang der Klimadiagnostik sowie zu künftigen Schwerpunktproblemen der Physik des Klimasystems geäußert.

## **Wolfgang Steinbrecht: Ozonschicht und Klimawandel**

Das internationale Montrealer Protokoll zum Schutz der Ozonschicht von 1987 mit seinen nachfolgenden Verschärfungen war erfolgreich! Seit Ende der 1990er Jahre gehen ozonzerstörende Substanzen weltweit langsam zurück, der Rückgang der Ozonschichtdicke konnte gestoppt werden. Seit 2000 schwanken die Ozonsäulen auf niedrigem Niveau. Erste Zunahmen werden verzeichnet. Am deutlichsten erkennbar ist dies in der oberen Stratosphäre, im Höhenbereich um 40 km. Dort tragen sowohl der beginnende Rückgang ozonzerstörender Substanzen als auch die stratosphärische Abkühlung durch zunehmendes CO<sub>2</sub> jeweils etwa die Hälfte zu Ozonzunahme seit etwa 2000 bei. Neben dem Rückgang ozonzerstörender Substanzen wird also die erwartete Erholung der Ozonschicht deutlich durch Treibhausgaszunahmen und Klimaänderung beeinflusst werden. Weiter zunehmendes CO<sub>2</sub> wird zu weiterer Erwärmung der Troposphäre und weiterer Abkühlung der Stratosphäre führen. Dies hat Auswirkungen auf Ozon-Chemie und auf den globalen Ozontransport durch die Brewer-Dobson Zirkulation. Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) nehmen ebenfalls zu. Beide wirken als Treibhausgase. Im Gegensatz zu CO<sub>2</sub> werden Methan und Lachgas in der Stratosphäre photochemisch zersetzt. Sie greifen damit direkt in das chemische Gleichgewicht zwischen Ozonbildung und Zerstörung ein. Modellrechnungen zeigen die Auswirkungen der verschiedenen Spurengase. Ozonsäulen in mittleren Breiten werden erst zwischen 2030 und 2050 wieder das Niveau der ungestörten 1960er Jahre erreichen. Das Antarktische Ozonloch wird erst nach 2060 wieder verschwinden. Trotzdem sind wir beim Ozon auf dem richtigen Weg.

## **Klaus Dethloff: Wechselwirkung von arktischem Meereis und kontinentaler Schneebedeckung mit atmosphärischen Telekonnektionsmustern**

Im Vergleich zur globalen Erwärmung ist die regionale Erwärmung in der Arktis fast doppelt so groß. An der deutsch-französischen AWIPEV Forschungsstation Ny-Ålesund auf Spitzbergen stiegen z. B. die bodennahen Jahresmitteltemperaturen zwischen 1992 und 2014 von -5,5 auf - 3 °Celsius an. Dieses Phänomen wird arktische Verstärkung genannt und hat zu einem deutlichen Rückgang des arktischen Meereises in den letzten zwei Jahrzehnten beigetragen. Parallel traten in den mittleren Breiten der Nordhemisphäre häufiger kalte Winter auf.

Die oberflächennahe Erwärmung über dem arktischen Ozean im Spätsommer beeinflusst die vertikale Stabilität der arktischen Atmosphäre und begünstigt die Entstehung und Ausbreitung von troposphärischen Tiefdruckgebieten. Das häufigere Auftreten von solchen Wettersystemen und deren erhöhte Intensität im Herbst führen

dazu, dass sich die atmosphärischen Telekonnektionsmuster im darauffolgenden Winter verändern.

Das arktische Schwingungsmuster übt dabei den größten Einfluss auf die atmosphärische Luftdruck- und Temperaturverteilung aus. Diese Schwingung stellt das vorherrschende Variabilitätsmuster der Nordhalbkugel dar und beschreibt in der europäischen Arktis die großräumigen Luftdruckschwankungen zwischen dem Islandtief und dem subtropischen Azorenhoch. Der Einfluss dieses Variabilitätsmusters erstreckt sich bis in die Stratosphäre.

Mit statistischen Methoden lassen sich Zusammenhänge zwischen dem im Sommer zurückgehendem arktischen Meereis und Veränderungen der typischen Luftdruck- und Zirkulationsmuster der Nordhemisphäre im Winter feststellen. In Jahren mit geringer Meereisbedeckung im Spätsommer tritt im darauffolgenden Winter ein schwächer ausgeprägter Luftdruckunterschied zwischen mittleren und polaren Breiten auf. Dadurch wird der Transport warmer Atlantikluft auf die Kontinente verringert und die Wahrscheinlichkeit für den Einbruch kalter Luftmassen aus Norden und Sibirien bis nach Mitteleuropa steigt deutlich an. Dabei besteht ein Zusammenhang mit großskaligen planetaren Wellen, die sich im Winter aus der Troposphäre in die Stratosphäre ausbreiten.

Als Folge der stärkeren Wellenaktivität in Jahren mit geringerer arktischer Meereisbedeckung bei gleichzeitig veränderter kontinentaler Schneebedeckung ist der winterliche Polarwirbel - ein ausgedehntes Tiefdruckgebiet - der Stratosphäre instabiler und wärmer. Die Stärke des Polarwirbels beeinflusst die Übertragung extremer Klimaanomalien von der Stratosphäre hinab in die Troposphäre und die Entstehung kalter Winter in Europa und Asien.

### **Jörg Matschullat: Bodenatmung (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) in Abhängigkeit von Landnutzung und klimatischen Bedingungen**

Böden wirken als Quellen und Senken für Treibhausgase (THG) wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O). Da sowohl die Speicherfähigkeit als auch die Emissionswirksamkeit sehr hoch sein können, sind präzise Quantifizierungen notwendig, um verlässliche globale Budgets berechnen zu können. Diese sind für ein besseres Landnutzungsmanagement (Land- und Forstwirtschaft), für offene Fragen zum globalen Wandel einschließlich von Klimawandelfragen erforderlich. Dieser Beitrag diskutiert ausschließlich den Anteil der mit der Bodenemission verbundenen Prozesse und deren steuernde Parameter. Dazu wurden Studien ausgewertet, welche die wichtigsten Typen von Landbedeckung und Klimazonen bearbeitet haben. Die dazu notwendigen Methoden werden ebenfalls kurz vorgestellt. Im Fazit werden die aktuellen Wissenslücken und der offensichtliche Bias zugunsten von Daten der Nordhemisphäre angesprochen.

Nutzt man einen konservativen globalen Durchschnittswert von 300 mg CO<sub>2</sub>e m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (basierend auf unserer Literaturstudie), so berechnen sich globale Netto-

Bodenemissionen in der Größenordnung von mehr als 350 Petagramm CO<sub>2</sub>e (CO<sub>2</sub>e = CO<sub>2</sub> Äquivalente = gesamter Effekt aller THG, normalisiert auf CO<sub>2</sub>). Dies entspricht etwa 21 % der globalen Bodenvorräte an Kohlenstoff und Stickstoff. Zum Vergleich, 33.4 Petagramm CO<sub>2</sub> werden jährlich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Zementindustrie freigesetzt.

### **Ulrich Cubasch: Dürreperioden in Asien während der letzten 1000 Jahre in Proxydaten und Modellsimulationen**

Klimamodell-Ensemble-Berechnungen sind für das letzte Jahrtausend ausgewertet worden, um festzustellen, inwieweit man Dürreperioden, die man in Proxy-Informationen wie zum Beispiel Baumringe oder Zivilisationsübergänge gefunden hat, auch simulieren kann. So wird aus den Modelldaten der Palmer-Drought-Index für Asien kalkuliert und mit entsprechenden Werten aus Baumringdaten verglichen. Sowohl in den Proxy-Daten als auch in den Modelldaten zeichnen sich deutlich starke und schwache Monsunphasen ab. Die schwachen Monsunphasen decken sich mit historisch überlieferten Dürreperioden. Die Modellsimulationen erlauben es, einen Gesamtüberblick über die Zirkulation in Zentralasien zu gewinnen: So kann man sehen, dass die "Strange Parallels Drought" (1756-1768) durch ein zusammenhängendes Zirkulationsmuster erzeugt wurde, das wiederum mit einer Temperaturanomalie (El-Nino) im tropischen Pazifik verbunden ist. Modell-Simulationen erlauben es auch, in Zusammenarbeit mit Archäologen den durch Klimawandel verursachten Anteil an Zivilisationsübergängen zu bestimmen.

der

### **Hartmut Kühne: Siedlungsausbau und Siedlungseinschränkung in der Bronzezeit Nord-Mesopotamiens in Abhängigkeit von klimatischen(?) Veränderungen**

Seit dem Ende des 4. Jahrtausends v. Chr. erfolgte die Urbanisierung der nordmesopotamischen Ackerebenen, die im Trockenfeldbau bewirtschaftet werden konnten. Am Ende des 3. Jahrtausends v. Chr. ist eine massive Abwanderung der Bevölkerung und eine Auflassung der Städte festzustellen. Dies ist ursächlich mit dem „4.2 kaBP event“, einem abrupten Klimawandel in weniger als fünf Jahren mit einer Niederschlagsverringerung von 20-50% über eine Dauer von 200-300 Jahre und dem Zusammenbruch des akkadischen Reiches in Verbindung gebracht worden (Weiss). Demgegenüber steht der archäologische Befund, der nur in wenigen Fällen eine Diskontinuität, jedoch meistens einen kulturellen Wandel erkennen lässt. Der Vortrag wird diese Dichotomie aufzeigen und einen Lösungsvorschlag anbieten.

## **Klaus-Dieter Jäger: Niederschlagsschwankungen in Mitteleuropa während der letzten Jahrtausende der Nacheiszeit und deren historische Folgen**

Die Klimaentwicklung der Vergangenheit ist in Mitteleuropa nur für die letzten 3 bis 4 Jahrhunderte anhand von Messwerten zu verfolgen, und schriftliche sowie bildliche Quellen stehen zumindest für Europa allenfalls für 2 Jahrtausende zur Verfügung. Weiter zurück ist die Rekonstruktion der Klimaentwicklung auf Proxydaten angewiesen, vorzugsweise beigetragen von Geowissenschaften anhand sedimentärer Schichtenfolgen aus dem jüngsten Abschnitt der Erdgeschichte, dem Quartär.

Rückschlüsse auf die Temperaturentwicklung verdanken wir vor allem der Paläontologie, Fossilfunden wie Pollen, Conchylien, Resten von Wirbeltieren (Knochen, Zähnen), von Organismen also, deren Existenz aktuell an bestimmte Temperaturwerte gebunden ist.

Schwieriger sind Aussagen zu erhalten über die Niederschlagsverhältnisse und deren Wandel in der Vergangenheit. Aussagefähig sind hierzu Sedimentfolgen, die unter Wasser entstanden sind und folglich (ehemalige) Gewässer voraussetzen, wie u. a. Kalkabsätze aus Binnengewässern (Travertin, Dauch, Seekreide u. ä.). Deren zeitweilige Trockenlegung in Zeiträumen mit vermindertem Wasserdargebot bewirkt im Sedimentationsraum temporär subaerische Bedingungen, die in der Schichtenfolge anstelle der (karbonatischen) Sedimentation zur Folge hatten. Archäologische Funde bezeugen häufig die menschliche Begehrbarkeit der vormals subhydri-schen Standorte und erlauben darüber hinaus deren Datierung sowie vielfach den Nachweis ihrer Gleichzeitigkeit auch in räumlich voneinander entfernten Teilregionen Europas und darüber hinaus.

Die regionale Vielfalt und räumliche Entferntheit der datierten Standorte erfordert eine weiträumig wirksame und von örtlichen Besonderheiten unabhängige gemeinsame Ursache für die Vielzahl von Einzelbeobachtungen an datierten Einzelbefunden, wofür nur weiträumige Minderungen des Niederschlagsangebots in Betracht kommen. Dafür spricht auch die Beobachtung synchroner Seespiegelabsenkungen, die die Archäologie mit dem Stichwort „Pfahlbauten“ populär gemacht hat.

Während der gleichen Zeiträume sind auch Bevölkerungsverschiebungen nachweisbar, die in Archäologie und Geschichtsschreibung bereits seit längerem bekannt sind (Urnenfelderbewegung, dorische Wanderung und Seevölkerbewegung im Mittelmeerraum) und vor dem Hintergrund regional eingeschränkten Wasserdargebots plausibel erklärbar sind.

Die Zeiträume verminderten Wasserdargebots in Mitteleuropa während der Jahrtausende der Nacheiszeit werden vorgestellt.

## **Mathias Deutsch: Hydrologische Extremereignisse der letzten fünf Jahrhunderte in Mitteldeutschland**

In seinem Vortrag stellt der Referent zunächst Quellen vor, die für die Rekonstruktion historischer Hoch- und Niedrigwasserereignisse genutzt werden. Hierzu gehören u. a. handschriftliche Einträge in Ortschroniken sowie Berichte von staatlichen und kommunalen Baubehörden. Ferner wird kurz auf die heute noch sichtbaren Kennzeichnungen extrem hoher bzw. niedriger Wasserstände entlang mitteldeutscher Fließgewässer eingegangen. Es folgen Darstellungen zum langfristigen Hochwassergeschehen ausgewählter Flüsse (z. B. Werra), wobei erkennbar wird, dass es offensichtlich Phasen verstärkter und verringerter Hochwasseraktivität gab. Der Rückblick in die letzten fünf Jahrhunderte schließt zudem Angaben zu herausragenden Niedrigwassern ein.

Folgend stehen ausgewählte hydrologische Einzelereignisse im Mittelpunkt. Hierzu gehören beispielsweise die sog. "*Thüringer Sintflut*" vom 29. Mai 1613 sowie die herausragenden Niedrigwasser in den Jahren 1904 und 1911.

Anzumerken ist, dass die im Vortrag gezeigten neueren Befunde zu extremen Hochwassern Ende 2015 in einer Publikation der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) Jena veröffentlicht wurden. Das Werk "*Hochwasser in Thüringen. Texte, Karten und Bilddokumente (1500-2013)*" umfasst 174 Seiten und enthält Quellen zu über 30 Abflussereignissen.

## **Dietrich Spänkuch: Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Gesellschaft in Europa**

Der Klimawandel ist nicht das einzige globale Problem. Diese Aussage ist trivial, nicht aber ihre Konsequenzen. Die Auswirkungen des Klimawandels sind in Europa weniger hart zu spüren als in anderen Regionen der Erde. Dies sowie die beträchtliche Wirtschaftskraft Europas, die zur Abschwächung und Adaptation des Klimawandels eingesetzt werden kann, lassen diesen Kontinent als das gelobte Land erscheinen. Es ist daher mit erheblichen Flüchtlingsströmen Richtung Europa zu rechnen, die in den nationalen Anpassungsstrategien zum Klimawandel bisher nicht oder nur ungenügend Einklang gefunden haben. Aber auch in Europa selbst wird der Unterschied zwischen arm und reich durch den Klimawandel verstärkt und damit das Konfliktpotential.

Der Klimawandel, selbst wenn er auf unter 2°C globale Erwärmung, bezogen auf die vorindustrielle Ära um 1850, beschränkt werden kann, ist in Europa insbesondere in den Küsten- und Hochgebirgsregionen z.T. auch heute schon spürbar. Die Einhaltung der 2°C-Grenze ist aber keineswegs gesichert. Der Meeresspiegelanstieg wird auch über die Jahrhundertwende hinaus viele Jahrhunderte anhalten. Die Anpassung an den Klimawandel wird beträchtliche Mittel binden. Der Vortrag konzentriert sich auf Beispiele für die norddeutsche Küste und den Mittelmeerraum.