



Anja Paumen, Jan-Heiner Küpper

## **It's the Planet, Stupid!**

Sieben Perspektiven zum Klimawandel

Anja Paumen, Jan-Heiner Küpper  
**It's the Planet, Stupid!**  
Sieben Perspektiven zum Klimawandel  
ISBN 978-3-86581-739-6  
304 Seiten, 14,8 x 21 cm, 24,95 Euro  
oekom verlag, München 2015  
©oekom verlag 2015  
[www.oekom.de](http://www.oekom.de)

# Teil 2

---

## *Interviews*

Teil 2 übergibt das Wort  
an die Experten.



*»Allmählich ist die Zeit gekommen, weil wir so viel verstehen und so gut messen können und Satelliten haben in großer Zahl, dass wir nach dem negativen Rückkopplungsmechanismus fahnden können, der es erlaubt hat, dass sich auf dieser Erde über Hunderte von Millionen Jahren Leben in der jetzt bekannten Form entwickeln konnte.«*

Hartmut Graßl

---

## Interview mit dem Meteorologen Prof. Dr. **Hartmut Graßl**

Hartmut Graßl, geboren 1940 in Berchtesgaden, studierte Physik an der LMU in München und absolvierte seine Doktorarbeit im Fach Meteorologie über die Größenverteilung von Wolkelementen. Im Jahr 1981 wurde er als Professor für Theoretische Meteorologie an die Universität in Kiel berufen. Drei Jahre später wechselte Hartmut Graßl an das außeruniversitäre GKSS Forschungszentrum in Geesthacht bei Hamburg und leitete das Institut für Physik. Im Jahr 1988 wurde er zum Direktor des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg und gleichzeitig auf den Lehrstuhl für Allgemeine Meteorologie an die Universität Hamburg berufen. Das Amt des Max-Planck-Direktors in Hamburg bekleidete er, unterbrochen durch seine mehrjährige Tätigkeit als Leiter des Weltklimaforschungsprogramms bei der Weltorganisation für Meteorologie (WMO), bis 2005. Als international anerkannter Klimaforscher hatte Hartmut Graßl viele weitere Funktionen. So wurde er im Jahr 1988 Vorsitzender des neu gegründeten Wissenschaftlichen Klimabeirats der Bundesregierung. Von 1992 bis 1994 und 2001 bis 2004 war er zudem Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats »Globale Umweltveränderungen (WBGU)« der Bundesregierung. Er war seit der ersten Stunde an den Gesprächen und Diskussionen des 1988 gegründeten Weltklimarates, IPCC, beteiligt. Er ist bis heute wissenschaftlich und politisch zum Thema Klimawandel aktiv. Seit dem Jahr 2005 ist Hartmut Graßl emeritierter Professor der Universität Hamburg und führt seine Lehre und Forschung über Wolken, Staubpartikel und deren Einfluss auf Sonnenstrahlung weiter.

Die Diskussion um den Klimawandel ist sehr aufgeheizt. Mal kurz außen vor gelassen, ob er stattfindet, wie stark er ist und wie viel davon menschengemacht, also anthropogen ist. Darüber reden wir gleich. Aber nur für sich betrachtet: Ist der anthropogene Klimawandel gut oder schlecht?

**H. Graßl:** Er ist auf jeden Fall weniger schädlich als eine gleich große Abkühlung. Stellen Sie sich vor, ein Grad kälter im Mittel!

Das wäre praktisch eine kleine Eiszeit, so wie wir sie schon einmal in Europa vor 300 Jahren hatten.

**H. Graßl:** Und was heißt das? Die Schweden haben fast keinen Ackerbau mehr und die Finnen auch nicht. Und in den Alpen dringen die Gletscher um mehrere Hundert Meter tiefer in die Täler vor. Das wäre schlimmer als ein Grad wärmer, weil es die Nahrungsmittelproduktion stärker behindern würde als eine Erwärmung.

Es wird nun nicht kälter in der Welt, sondern wärmer. Sie haben an dem neuesten IPCC-Bericht mitgearbeitet. Welche Daten sprechen Ihrer Meinung nach sicher und solide für diese globale Erwärmung?

*Im Zeitraum von 1880 bis 2012 ist die globale mittlere Oberflächentemperatur weltweit um rund 0,85 °C angestiegen.*

**H. Graßl:** Die Erwärmung seit 1900 um inzwischen etwa 0,8 Grad. Im vorletzten IPCC-Bericht von 2007 stand noch 0,76 Grad im Zeitraum von 1905 bis 2005. Oder noch genauer: In den genannten 100 Jahren waren es 0,76 °C plus oder minus 0,15 °C, das ist die Fehlerangabe. Im aktuellen IPCC-Bericht steht, dass die Erwärmung zwischen 1880 und 2012 einen Wert von 0,85 °C erreicht hat plus oder minus 0,2 °C. IPCC-Berichte glänzen dadurch, dass sie Fehlerbalken<sup>1</sup> angeben.

## Temperatur wird seit Jahrhunderten immer gleich gemessen

Diese Erwärmung ist gesichert?

**H. Graßl:** Ja, seitdem ein globales Messstationennetz voll etabliert war, das war grob so um 1900 erreicht. Wir können es allerdings mit Lücken auch noch bis etwa zum Jahr 1860 zurückführen.

Es gibt selbst Physiker, die bezweifeln, dass es diese Temperaturerhöhung gibt, weil sie sagen, dass man vor 100 Jahren noch gar nicht so genau die Temperatur hat messen können.

**H. Graßl:** Jeder Physiker müsste wissen, wenn ich viele Millionen von einzelnen Messungen habe und dabei immer einen statistischen Fehler, weil einer schräg aufs Thermometer geblickt hat, von oben und der andere von unten, dann ist auch ein Fehler von 1 °C pro Ablesung jederzeit einer, den ich für den Mittelwert auf zehntel °C reduzieren kann.<sup>2</sup> Gleichzeitig hat ein so zweifelnder Physiker möglicherweise nicht gewusst, dass die Ablesung eines Thermometers 1850 fast die gleiche Präzision hatte wie heute. Denn worum geht es? Warum können wir Meteorologen diese Trends bestimmen? Es ging lange nur um das Ablesen einer Quecksilbersäule.

Hatte man denn vor 150 Jahren so viele Temperaturmessungen gemacht, um diese Fehlermöglichkeit ausschließen zu können?

**H. Graßl:** Ja, man hatte zum Beispiel 1860 vielleicht schon weit über 1.000 Stationen um die Erde herum verteilt, einschließlich der Messungen auf den Schiffen, und die Beobachter waren angewiesen, mindestens dreimal pro Tag diese Quecksilbersäule abzulesen, bei den sogenannten Mannheimer Stunden<sup>3</sup>, um einen guten Mittelwert für den Tag errechnen zu können. Und die Quecksilberthermometer, die waren auf zehntel °C geeicht, also fast genauso gut wie heute.

Also ist die Messgenauigkeit seit 150 Jahren die gleiche?

**H. Graßl:** Es kommt darauf an, welche Präzision wir brauchen. Wenn wir heute woanders messen, also zum Beispiel im Inneren des Ozeans, dann erreichen wir eine höhere Präzision als früher. Aber im Inneren des Ozeans, am Ozeanboden zum Beispiel, muss das tausendstel °C reproduzierbar sein, sonst entdeckt man keine Trends. Denn dort unten ist es so gleichmäßig kalt, dass man Veränderungen im Bereich von hundertstel und tausendstel °C braucht, um sagen zu können, ob sich wirklich was geändert hat. Aber bei der Lufttemperatur ist das eben nicht der Fall.

Das ist möglicherweise nicht bekannt, dass man tatsächlich die Temperaturwerte heute mit jenen von vor 100 Jahren absolut präzise vergleichen kann.

**H. Graßl:** Ja, man kann gut vergleichen. Denn es ist das gleiche Messprinzip, die Ablesung einer Quecksilbersäule. Und ein Quecksilberthermometer können Sie im Klimaschrank – das haben die Kollegen damals auch

*Vor der Industrialisierung um 1750 betrug die Konzentration des Gases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre 280 ppm. Im Jahr 2015 betrug sie 400 ppm.*

gemacht – auf etwa ein zehntel °C eichen. Und Sie haben ja zwei Fixpunkte: wir Europäer die jetzt dominante Temperaturskala von Herrn Celsius, einem schwedischen Naturforscher. 0 °C ist die Temperatur, die bei Normaldruck schmelzendes Eis hat. Und

100 °C ist der Siedepunkt von Wasser, auch wieder bei Normaldruck. Und dazwischen können Sie linear interpolieren.

Was sind noch gesicherte Daten?

**H. Graßl:** Auch der CO<sub>2</sub>-Anstieg ist unumstritten.

### Ein Kohlendioxid-Teilchen trägt ein Etikett seiner Herkunft

Woher weiß die Wissenschaft, dass der CO<sub>2</sub>-Anstieg vom Menschen verursacht ist?

**H. Graßl:** Ja, das kann man unter anderem über die Verhältnisse der Kohlenstoffisotope<sup>4</sup> nachweisen. Fossile Brennstoffe haben, weil sie sehr alt sind, keinen radioaktiven Kohlenstoff mehr. Das radioaktive Kohlenstoffisotop C-14 existiert also nicht mehr in den chemischen Verbindungen der Braunkohle-, Steinkohle-, Erdgas- und Öllager. Es existiert aber noch in lebenden Pflanzen und Tieren und nimmt nach dem Tod kontinuierlich ab. Nach etwa 60.000 Jahren ist im abgestorbenen organischen Material C-14 nicht mehr zuverlässig nachweisbar. Jede Pflanzengruppe geht bei der Photosynthese leicht unterschiedlich mit diesen Kohlenstoffisotopen um, sodass es ein fast festes Verhältnis in der normalen Biomasse gibt. Aber in fossilen Brennstoffen, die aus fossiler Biomasse bestehen, gibt es kein C-14. Je weniger C-14 im Kohlendioxid der Luft oder im Ozeanwasser nachgewiesen wird, desto mehr dieses Kohlendioxids stammt aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen.

Also der Mensch verbrennt Öl, Gas und Kohle, und die Kohlendioxidemissionen, die dabei entstehen, haben kein C-14 mehr. Je mehr Kohlendioxid, das in der Luft ist, also kein C-14 enthält, desto mehr ist anthropogen entstanden, eben durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Das C-14 ist quasi wie ein Etikett am Kohlendioxid. Wenn kein C-14 dran »klebt« sozusagen, kommt das Kohlendioxid aus menschlichen Quellen, aus der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas. Also misst man das Verhältnis von Kohlendioxid und C-14 in der Luft oder im Wasser.

**H. Graßl:** Ja, zum Beispiel kann man im Ozean Wasser schöpfen und sehen, wie der sogenannte Suesseffekt<sup>5</sup> in den Ozean eingedrungen ist. Wenn man jetzt fossile Brennstoffe verbrennt, dann findet man im Ozean, in den Tiefen, wo noch kein Wasser hingekommen ist, das die fossilen Brennstoffe kennt, weil es schon Jahrhunderte alt ist und seitdem kein Kontakt zur Oberfläche hergestellt war, dann findet man dort unterschiedliche Kohlenstoffisotopenverhältnisse. Genau diese Verhältnisse hat man im Rahmen des Weltklimaforschungsprogramms, das ich mal geleitet habe, quer durch alle Ozeanbecken an allen möglichen Stellen gemessen und dann zurückgerechnet, wie viel von diesem Kohlenstoff aus den fossilen Brennstoffen bisher und wo den Ozean schon geentert hat. Daraus kann man berechnen, wie viele Gigatonnen unseres anthropogenen Kohlenstoffes im Ozean gelandet sind. Gegenwärtig nimmt der Ozean allerdings nur etwa ein Viertel der Emissionen auf.

Damit ist der Mensch als Ursache für die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre und den Ozeanen ausgemacht. Denn der hohe und weiter steigende Anteil an Kohlendioxid ohne C-14 Isotope lässt sich nur durch den Menschen erklären: durch die vom Menschen in Gang gesetzte gigantische Verbrennung von totem organischem Material in Form von Öl, Gas und Kohle. Damit ist die immer mehr ansteigende Menge der in der Luft vorkommenden CO<sub>2</sub>-Moleküle durch den Menschen verursacht.

**H. Graßl:** Ja, das bezweifelt von den Wissenschaftlern niemand mehr. Aber es gibt natürlich Skeptiker und Leugner, die immer wieder Gegenteiliges behaupten werden, weil sie generell dagegen sind oder eigene Interessen verfolgen.



## Für den Meeresspiegelanstieg gibt es genauere Zahlen: Er steigt schneller

Der vorletzte Bericht des IPCC erschien im Jahr 2007, der letzte und damit aktuelle von 2013 bis 2014. Welche neuen Erkenntnisse gibt es?

**H. Graßl:** Der mittlere Meeresspiegelanstieg war sehr unsicher am Beginn von IPCC. Es hieß damals Anfang der 1990er-Jahre, der liegt irgendwo zwischen einem und zwei Millimetern pro Jahr. Für das gesamte 20. Jahrhundert gilt inzwischen ein Wert von 2,0 Millimetern plus oder minus 0,3 Millimeter pro Jahr. Seit dem Jahr 1992 haben wir aber Satellitendaten, die das noch genauer messen können. Seitdem ist der mittlere Meeresspiegelanstieg 3,2 Millimeter pro Jahr plus oder minus weniger als 0,5 Millimeter.

Das kann doch auch von Jahr zu Jahr schwanken oder?

**H. Graßl:** Seit 1992 ist der Meeresspiegel im Mittel um diesen Wert angestiegen. Im Jahr 2011 sank der mittlere Meeresspiegel zum Beispiel leicht, wegen eines massiven La-Niña-Ereignisses.<sup>6</sup>

Dass der Meeresspiegel schwankt, dass er mal höher ist, mal niedriger, das hat es aber auch früher schon gegeben im Wechsel von Eiszeiten und Warmzeiten.

**H. Graßl:** So war es immer in der Klimageschichte der letzten paar Millionen Jahre. Wenn es um 5 °C kälter geworden ist, dann sank der Meeresspiegel mindestens um 100 Meter, und ist es um 5 °C dann aus der Eiszeit heraus wieder wärmer geworden, dann stieg er wieder um mindestens 100 Meter an. Das war in der letzten, in der vorletzten und der vorvorletzten Eiszeit immer so. Sie können daher folgendes als Paläoklimaäußerung<sup>7</sup>

Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Meeresspiegel:  
*Bei einer Erwärmung der globalen mittleren Erdoberflächentemperatur um ein Grad Celsius, steigt in der Folge der Meeresspiegel um 20 Meter an. Und umgekehrt: Bei einer Abkühlung der Temperatur auf der Erde um ein Grad sinkt der Meeresspiegel 20 Meter ab. Voraussetzung: Die Änderung der Lufttemperatur hält mehrere Jahrtausende über an.*

Zusammenhang zwischen Wassertemperatur und Meeresspiegel:  
*Wenn das Wasser der Weltmeere oder des Ozeans sich komplett um ein Grad erwärmt oder abkühlt von der Oberfläche bis zum Grund, dann erhöht oder senkt sich der Meeresspiegel um etwa 60 Zentimeter. Die Erwärmung oder Abkühlung des Ozeans bis zum Meeresboden dauert Jahrhunderte bis Jahrtausende.*

nehmen: Wenn eine Störung der Zusammensetzung der Atmosphäre lang genug anhält, dann ist  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  Erwärmung äquivalent zu etwa 20 Metern Meeresspiegelanstieg. Jetzt ist die zentrale Frage, die uns Wissenschaftler umtreibt, wie lang wird die Störung, die wir jetzt durch die Nutzung der fossilen Brennstoffe aufprägen, andauern? Reden wir über 100, 200, 500, 700 oder 1.000 Jahre? Je länger es dauert, je länger diese Erwärmung anhält, umso wahrscheinlicher nähern wir uns diesen 20 Meter Meeresspiegelanstieg pro  $^{\circ}\text{C}$ .

Und da es in der letzten Eiszeit rund  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  kälter war als heute, lag der Meeresspiegel ungefähr 100 Meter tiefer als heute. Es gibt aber noch eine zweite Ursache für den Anstieg des Meeresspiegels. Das hat mit der Wassertemperatur selbst zu tun, oder?

**H. Graßl:** Klar. Warum haben wir denn die Flüssigkeiten in Thermometern? Weil die sich mit der Temperatur ausdehnen. Das macht doch auch das Wasser.  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  Erwärmung für den gesamten Ozean entspricht etwa 60 Zentimetern Meeresspiegelanstieg. Der Ozean war während der Eiszeit nur im Mittel  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  kälter als heute.<sup>8</sup> Also stammte die Meeresspiegeländerung überwiegend von Eisbildung oder Eisschmelze.<sup>9</sup>

Der Ozean erwärmt sich ja auch viel langsamer als die Luft. Hat er sich daher in der gleichen Zeit weniger erwärmt als die Atmosphäre?

**H. Graßl:** Ja, deswegen und weil das tiefe Wasser an den Meeresrändern gebildet wird.<sup>10</sup> Dazu kommt noch, dass der Ozean damals im Wechsel von Eiszeiten und Zwischeneiszeiten viel mehr Zeit hatte, sich anzupassen, weil die natürlichen Vorgänge viel langsamer ablaufen als die jetzige Störung.

## Unsicherheit bei der Rolle der Wolken und Schwebeteilchen bleibt bestehen

Welche neuen Erkenntnisse gibt es über die Luft und deren Zusammensetzung?

**H. Graßl:** Ich bin ein Fachmann für Wolken und Aerosole.<sup>11</sup> An dem Kapitel im IPCC-Bericht 2013 über Wolken und Aerosole habe ich selbst mitgearbeitet. Dabei habe ich festgestellt, dass sich hier eigentlich wenig getan hat. Es ist viel geforscht worden, aber die Unsicherheit ist nur leicht geschrumpft.

Warum ist das so?

**H. Graßl:** Ich hatte mal eine Debatte mit Bert Bolin,<sup>12</sup> dem früheren Chef des IPCC, und mit Gordon McBean<sup>13</sup>, dem Präsidenten des kanadischen Wetterdienstes. Weil wir beide, Gordon McBean und ich, beauftragt waren, Anfang der 1990er-Jahre für den zweiten bewertenden IPCC-Bericht das Kapitel »reducing uncertainties«<sup>14</sup> zu schreiben. Damals sagte Bert Bolin: »I do not like this title.« Denn es könnte ja auch sein, dass ein verbessertes Verständnis des Systems die Unsicherheiten steigert und nicht reduziert! Das ist jetzt beim Kapitel Wolken und Aerosole in Teilbereichen immer wieder der Fall. Also wir verstehen einzelne Prozesse entschieden besser, weil viel geforscht worden ist und dabei vielleicht noch eine Rückkopplung<sup>15</sup> gefunden wurde, die wir bisher überhaupt nicht im Visier hatten. Und die dann die Fehlerbalken wachsen lässt.

Aber ist das nicht genau Wasser auf die Mühlen der Kritiker, die sagen, man weiß heute doch noch gar nicht so viel, um die politische Notwendigkeit zu haben, unterschiedliche Maßnahmen zu treffen.

**H. Graßl:** Ja, aber das wird sich so schnell nicht oder nie ändern. Denn das Klimasystem hat viele raffinierte Rückkopplungen. Reden wir mal nicht über das 21. Jahrhundert, da ist vieles eingetütet und relativ sicher, so dass schon längst gehandelt werden kann. Aber bei den Rückkopplungsmechanismen, bei denen die Natur einmal angestoßen in Zeiträumen von Jahrtausenden reagiert, da sind die biogeochemischen Kreisläufe mit berücksichtigt, also das Leben voll integriert,<sup>16</sup> und können rückkoppeln.

## Drei Beispiele für die Vielfalt und Komplexität der Rückkopplungen im Klimasystem

a) Aufforstung: *mal positive, mal negative Rückkopplung*

**H. Graßl:** Nehmen wir die Rückkopplung der borealen<sup>17</sup> Wälder. Wenn Sie boreale Wälder abgeholzt haben, was wir ja auch zu großen Teilen in Russland, Kanada, Skandinavien und woanders schon getan haben, und Sie forsten sie wieder auf, dann beschleunigen Sie die globale Erwärmung! Weil das bisschen CO<sub>2</sub>, das dann pro Jahr zusätzlich im wachsenden Wald gestapelt wird, in seiner Klimawirkung überrannt wird von der Veränderung der Rückstrefähigkeit der Oberflächen.<sup>18</sup> Denn schon 10 bis 20 Jahre nach Beginn des Aufforstens haben Sie aus einer Wiese für Kühe, die im Winter mit Schnee 80 Prozent der einfallenden Sonnenstrahlung reflektiert, einen jungen Wald gemacht, der nur noch 30 Prozent reflektiert.

Weil der Wald dunkel ist.

**H. Graßl:** Der ist besonders im Winter viel dunkler. Und der Unterschied zwischen 30 Prozent, die er reflektiert, und 80 Prozent, die die Wiese vorher im Winter und zeitigen Frühjahr reflektierte, wird jetzt absorbiert. Dabei wird natürlich nicht nur das sichtbare Licht der Sonne absorbiert, sondern auch das Infrarotlicht<sup>19</sup> der Sonne. Wir stoßen durch Wiederaufforstung eines borealen Waldes also eine Erwärmung an.<sup>20</sup>

Dabei sagt man, dass Aufforstung immer gut ist, um die Erwärmung abzuschwächen!

**H. Graßl:** So einfach ist das alles nicht, wie es sich der normale Bürger vorstellt. Bei Aufforstung im Mittelmeerraum ist das Vorzeichen anders. Dort haben Sie eine Senke für Kohlendioxid geschaffen und die Refle-

*Aufforstung ist nicht immer kühlend für das Klima. Im sehr hohen Norden bewirkt Aufforstung eine Erwärmung, im Mittelmeerraum und in den Tropen eine Abkühlung. Aufforstung ist daher manchmal eine verstärkende (positive), manchmal eine abschwächende (negative) Rückkopplung für die globale Erwärmung. Daran sieht man, wie vielschichtig das Klimasystem ist.*

xionsfähigkeit der Oberfläche wurde nur marginal verändert. Genauso im tropischen Regenwald. Wenn wir die borealen Wälder systematisch wiederaufforsten, dann beschleunigen wir die mittlere globale Erwärmung.

Und das ist heute sicher?

**H. Graßl:** Ja.

*b) Abreißen des Golfstroms: eine negative Rückkopplung*

Also Aufforstung kann einmal die Erwärmung verringern, etwa in den Tropen, oder sie sogar erhöhen, etwa im hohen Norden. Eine ausgleichende, also negative Rückkopplung könnte doch das Ende des Golfstroms<sup>21</sup> sein. Da der Golfstrom warmes Wasser nach Europa transportiert und dadurch das Klima in Europa erwärmt, würde ein Schwächerwerden oder gar Abreißen des Golfstroms Europa abkühlen. Wie beurteilen Sie die Wahrscheinlichkeit, dass das in diesem Jahrhundert oder in den nächsten Jahrhunderten eintritt und der Klimaerwärmung entgegenwirkt?

**H. Graßl:** Diese Wahrscheinlichkeit ist ziemlich kräftig geschrumpft, weil neue Messungen existieren. Mein Kollege hier in Hamburg, Jochem Marotzke, einer der jüngeren Direktoren am Max-Planck-Institut, hat, als er noch in Großbritannien arbeitete, mit seinen Kollegen zusammen eine Dauerbeobachtung entlang eines Querschnitts durch den Atlantik mit verankerten Geräten eingerichtet, sodass wir jetzt wissen, wie die Strömungen im Querschnitt bei 27 Grad nördlicher Breite verlaufen. Also wie viel strömt in welcher Tiefe nordwärts, wie viel strömt südwärts, wie groß ist die sogenannte Umwälzzirkulation.<sup>22</sup> Die Fehler, die man dabei macht, sind noch in der Größenordnung von etwa einer Million Kubikmeter pro Sekunde, genannt ein Sverdrup,<sup>23</sup> und der Wert liegt so zwischen 15 und 20 Millionen Kubikmeter pro Sekunde für diese Umwälzbewegung. Die Wahrscheinlichkeit, dass sie demnächst abbricht, ist sehr gering geworden aufgrund der Beobachtungen und der Modellrechnungen.

Aber wenn jetzt das Grönlandeis schmelzen würde, dann würde doch Süßwasser in den Atlantik strömen und den Salzgehalt verringern und dadurch den Antrieb für diese Umwälzzirkulation im Atlantik abbremsen. Dann würde es doch zum Abbruch des Golfstroms kommen?

*Ein Abreißen des Golfstroms ist für die nächsten 100 Jahre sehr unwahrscheinlich. Damit wird auch der kühlende Effekt für die höheren Breiten um den Nordatlantik ausbleiben, der teilweise die globale Erwärmung ausgleichen könnte. Das heißt, durch die Klimaerwärmung wird nach jetzigem Stand des Wissens keine negative Rückkopplung durch eine Abschwächung des warmen Golfstroms ausgelöst.*

**H. Graßl:** Nein, dann müsste das Schmelzen extrem schnell gehen, denn die Menge an Grönlandwasser, die dann als Süßwasser in den Atlantik strömt, ist bei gegenwärtigen Raten ein sehr kleiner Anteil der jährlich dort durch den Niederschlag deponierten Süßwassermenge. Viel mehr Wirkung hätte eine systematisch veränderte Niederschlagsverteilung. Denn dass wir diese Bildung von Tiefenwasser im hohen Norden haben, liegt daran, dass der Atlantik insgesamt mehr verdunstet als er an Regenwasser bekommt, sodass in der norwegischen See Salzgehaltswerte im Ozeanwasser an der Oberfläche existieren, die weit höher sind als in jedem anderen Ozean in diesen höheren Breiten. Hinzukommt, dass im Winter, wenn eiskalte Luft über die Meereiskante<sup>24</sup> strömt, mit vielleicht  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , das Oberflächenwasser so heruntergekühlt werden kann, bis auf die Gefrieretemperatur von Meerwasser von  $-1,8$  bis  $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,<sup>25</sup> dass die obersten Schichten in kleinen Bereichen die dichtesten sind, und dann rauscht dieses dichte Wasser nach unten durch. Dann wälzt sich lokal der Ozean in nur Tagen bis in Tiefen von mindestens einem Kilometer um. Die entscheidende Voraussetzung für diese Umwälzung im Ozean war immer, dass überdurchschnittlich salzhaltiges Wasser zum hohen Norden transportiert wird. Aber wenn die laufenden Klimaänderungen die Niederschläge umverteilen würden und den Atlantik zu einem Ozean machen, der mehr Wasser bekommt als er verdunstet, dann hätten wir einen ganz großen Eingriff in die globale ozeanische Zirkulation.

Und wie wahrscheinlich wäre das?

**H. Graßl:** Die Modellrechnungen sagen eher das Gegenteil, weil ja die Subtropen weiter austrocknen. In den Klimamodellrechnungen ist die Wahrscheinlichkeit dafür also sehr gering.

### *c) Auftauen von Permafrost: eine positive Rückkopplung*

Eine weitere Rückkopplung, die im Klimasystem schlummern könnte, wäre diesmal eine positive, also verstärkende: Es ist das Auftauen des Permafrostbodens in den hohen Breiten Nordamerikas und den mittleren bis hohen Breiten Asiens. Das wäre eine Rückkopplung, die die Klimaerwärmung weiter antreibt und verstärkt. Durch das Auftauen könnten große Mengen an Methan und Kohlendioxid aus dem Boden entweichen. Und weil Methan wie auch Kohlendioxid Treibhausgase sind, verstärkt es die globale Erwärmung. Denn durch deren Ausgasungen aus dem Permafrost würde die Lufttemperatur weiter ansteigen. Wie wahrscheinlich ist das?

**H. Graßl:** Auftauen von Permafrost ist ein sehr langfristiger Vorgang. In Sibirien und Kanada gibt es Permafrostböden, die überdauerten den wärmsten Teil des Holozäns<sup>26</sup> sowie die Eem'sche Zwischeneiszeit<sup>27</sup>, da war es Tausende von Jahren lang im globalen Mittel bis zu etwa 1 °C wärmer als heute. Was passiert, wenn es wärmer wird als jetzt? Dann wird die aktive Schicht, also die, die am Ende des Sommers aufgetaut ist, vielleicht einige Dezimeter tiefer als vorher, denn mehr als ein halber bis ein dreiviertel Meter taut dort sowieso nicht auf. Der bis zu mehrere Hundert Meter tiefe Permafrost wird also nicht vollständig auftauen. Es werden immer nur kleine obere aufgetaute Schichten hinzugefügt, aus denen Methan und Kohlendioxid durch die einsetzende Aktivität der Mikroben entweichen.

Also die verstärkende Rückkopplung der Erwärmung durch ein Auftauen des Permafrosts ist möglich, aber es wird kein massives Ereignis in den nächsten 100 Jahren werden?

**H. Graßl:** Es besteht nur die Gefahr, dass sich steigende, relativ große Ausgasungen stattfinden, aber der Vorgang geht sicher über Jahrhunderte. Bisher ist die Stärke dieser Zusatzquelle an Treibhausgasen nicht bekannt.

*Das Auftauen der Permafrostböden im hohen Norden führt zu einer Verstärkung der globalen Erwärmung. Doch der Vorgang vollzieht sich sehr langsam und es würde bei weiterer starker Erwärmung sicherlich Jahrhunderte dauern, bis der Permafrost vollständig aufgetaut wäre. Dennoch ist dies eine positive Rückkopplung, die die Erwärmung weiter vorantreibt.*

## Die stabilisierende Rückkopplung, die noch gesucht wird

**H. Graßl:** Jetzt komme ich zu einer Äußerung, die ich bei meinem Abschied als aktiver Direktor im Jahr 2005 gemacht habe: »Allmählich ist die Zeit gekommen, weil wir so viel verstehen und so gut messen können und Satelliten haben in großer Zahl, dass wir nach dem negativen Rückkopplungsmechanismus fahnden können, der es erlaubt hat, dass sich auf dieser Erde über Hunderte von Millionen Jahren Leben in der jetzt bekannten Form immer weiterentwickeln konnte.« Denn das kann nur sein bei erstaunlich stabilem Klima mit höchstens etwa 5 °C über heutigen Temperaturen und höchstens 5 °C unter heutigen Temperaturen, also bei einer Spanne des Treibhauseffektes von 10 °C. Es muss eine langfristig wirkende negative Rückkopplung geben.

Die das Ganze stabilisiert.

**H. Graßl:** Die das immer wieder stabilisieren hilft. Denn wenn wir die zwei positiven Rückkopplungen im Wasserkreislauf<sup>28</sup> anschauen – ja wo ist denn da das Ende? Kocht dann der Ozean irgendwann? Aber der hat in den vergangenen vielen Millionen Jahren nie gekocht.

Das heißt, eigentlich müsste es immer wärmer werden, wenn eine Erwärmung einmal angestoßen ist. Und wo ist jetzt diese negative Rückkopplung, die das verhindert?

**H. Graßl:** Wir kennen sie noch nicht. Es ist jetzt an der Zeit, dass wir danach fahnden. Und mit hoher Wahrscheinlichkeit spielt das Leben dabei eine Rolle.

## Mit neuen Computern werden die Klimamodelle immer genauer

Das Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg hat eine sehr große Erfahrung mit computergestützten Klimamodellen. Welche Stellung hat das Institut international?

**H. Graßl:** Weltweit sind das rund 20 Institutionen, die gekoppelte Ozean/Atmosphäre/Land-Modelle<sup>29</sup> entwickelt oder weiterentwickelt haben. Eine