

DEUTSCHER BUNDESTAG

Protokoll 12. Sitzung

14. Wahlperiode

Enquete-Kommission

„Nachhaltige Energieversorgung unter den
Bedingungen der Globalisierung
und der Liberalisierung“

PROTOKOLL

der 12. Sitzung

der Enquete-Kommission

**„Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen
der Globalisierung und der Liberalisierung“**

am 16. Oktober 2000

in Berlin, Plenarbereich Reichstagsgebäude,

Raum 3 N 001

Vorsitz: Abg. Kurt-Dieter Grill (CDU/CSU)

Öffentliche Anhörung

zu dem Thema

„Klimawandel“

Protokoll der Anhörung "Klimawandel"

Inhaltsverzeichnis

Eröffnung der Anhörung	7
Statements der eingeladenen Sachverständigen	7
I.1 Statement Prof. Dr. Ernst Augstein	7
I.2 Statement Dr. Ulrich Cubasch	9
I.3 Statement Prof. Dr. Henry D. Jacoby	12
I.4 Statement Prof. Dr. Gernot Klepper	15
I.5 Statement Dipl.-Geograph Thomas Loster	19
I.6 Statement Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese	23
I.7 Statement Prof. Dr. Ferenc Toth	27
I.8 Statement Priv.-Doz. Dr. Andreas Wahner	29
Erste Fragerunde	33
Statement Prof. Dr. Richard S. J. Tol	45
Zweite Fragerunde	47
Dritte Fragerunde	53
Vierte Fragerunde	64
Index	78

Anlage:

Materialband zur Anhörung

Beginn der Sitzung: 10.40 Uhr

Eröffnung der Anhörung

Der **Vorsitzende** eröffnet die 12. Sitzung der Enquete-Kommission. Zur öffentlichen Anhörung "Klimawandel" begrüßt er die Mitglieder der Enquete-Kommission, die eingeladenen Experten sowie die interessierte Öffentlichkeit, die Presse und die anwesenden Dolmetscher. Nach Mitteilung der Entschuldigungen zur heutigen Sitzung und einer kurzen Einführung in das Thema bittet er die Sachverständigen jeweils um ein erstes Statement.

Statements der eingeladenen Sachverständigen

Der **Vorsitzende** erteilt zunächst **Prof. Dr. Ernst Augstein** das Wort für die Vorstellung seines Statements.

I.1 Statement Prof. Dr. Ernst Augstein

Der Sachverständige **Prof. Dr. Ernst Augstein** erklärt, dass die in den vergangenen Jahrzehnten - vor allem im Rahmen des Weltklimaforschungsprogramms - intensivierte Erforschung des globalen Klimas den Kenntnisstand auf diesem Gebiet signifikant verbessert habe. Hier seien insbesondere zu nennen:

- Paläodaten lieferten mittlerweile detaillierte Aufschlüsse über die natürlichen Klimavariationen der letzten 100 bis 500.000 Jahre, deren mögliche Ursachen anhand numerischer Modellsimulationen erkundet werden könnten.
- Die Modellrechnungen belegten zum einen, dass extern angeregte Störungen durch interne Wechselwirkungen markant modifiziert, d. h. verstärkt oder abgeschwächt werden könnten, so dass ihr quantitativer Einfluss auf das Klima bislang nur vage abgeschätzt werden könne. Zum anderen böten sie den einzigen sinnvollen Weg, Szenarien zukünftiger Klimazustände zu simulieren. Allerdings seien die Ergebnisse derartiger Rechnungen mit **äusserster** (Streichen Augstein) Zu-

rückhaltung zu bewerten, da die Modelle wesentliche Prozesse nicht oder nicht realitätsgerecht berücksichtigten. Aus der Entwicklung der letzten Dekaden wüssten wir, dass z. B. die berechneten Störampplituden mit zunehmender Komplexität der Modelle deutlich abgenommen hätten.

Der **Sachverständige** erklärt weiter, dass die Forschungsarbeiten der letzten Jahre die Ansicht stützten,

- dass die ozeanische Komponente des Klimasystems nicht nur bei langfristigen sondern auch schon bei relativ kurzzeitigen Schwingungen des Klimasystems eine einflussreiche Rolle spiele,
- dass der Ozean mit seinen teils eisbedeckten Polarregionen in den Modellen **völlig** (Streichen Augstein) unzureichend behandelt werde, so dass u. a. die Erneuerung des Tiefen- und Bodenwassers in den subpolaren Meeresgebieten nicht realistisch reproduziert werde,
- dass infolge einer dynamischen und thermischen Kopplung zwischen Ozean und Atmosphäre offenbar dekadische Schwingungen des Klimasystems insbesondere auf der Nordhemisphäre erzeugt würden, die möglicherweise für eine mehrjährige Witterungsvorhersage nutzbar gemacht werden können, wie es ähnlich beim El Nino schon gelungen sei,
- dass trotz der noch bestehenden Unzulänglichkeiten bei den Modellsimulationen ein menschlicher Einfluss auf die in den letzten 150 Jahren beobachtete Temperaturzunahme in der bodennahen Atmosphäre vorhanden sei, wobei allerdings der quantitative Wert der anthropogenen Zunahme nicht genau zu benennen sei.

Obgleich der wissenschaftliche Kenntnisstand zur Entwicklung des Erdklimas in den letzten Jahrzehnten ständig und beträchtlich angewachsen sei, bestünde noch zu viele Unsicherheiten, um auf der Grundlage dieses Wissens zweifelsfreie Handlungsempfehlungen für Verwaltungsverordnungen oder Gesetzesinitiativen zu geben. Da Politik und Verwaltung verständlicherweise um fachliche Beratung zu Klimaanliegen einkommen, würden nach Beobachtung des Sachverständigen bisweilen sogar selbstkritische Kollegen zu bedenklich grosszügiger Bewertung z. B. der in Modellsimulationen gefundenen Ergebnisse verleitet.

Dies sollten alle politischen Entscheidungsträger bedenken, die um wissenschaftliche Beratung nachsuchen. Der Sachverständige **Prof. Dr. Ernst Augstein** verweist **gierzu** hierzu (Änderung Augstein) beispielhaft auf die Diskussionen der letzten Wochen über ein angebliches Abschmelzen des Nordpol-Eises. Dies sei natürlich ein großer Nonsens gewesen, der aber von ernst zu nehmenden Wissenschaftlern mit gestützt worden sei. Dies müsse stets bedacht werden, wenn man den Rat von Experten in politisches Handeln umsetzen wolle.

Der **Vorsitzende** dankt dem Sachverständigen für sein Statement und erteilt anschließend Herrn **Dr. Ulrich Cubasch** das Wort.

I.2 Statement Dr. Ulrich Cubasch

Der Sachverständige **Dr. Ulrich Cubasch** gibt der Kommission in seinem Statement eine Kurzübersicht über den Stand der Erkenntnisse, wie er im Wesentlichen auch im nächsten IPCC-Bericht zu finden sein dürfte; dieser Bericht werde voraussichtlich im Februar 2001 erscheinen. Dabei handele es sich um eine Zusammenstellung einer Vielzahl von Einzelergebnissen der weltweiten aktuellen Forschung. Der **Sachverständige** präsentiert eine Folie zur Kohlendioxidentwicklung in der Atmosphäre von 1950 bis 2000. Hierzu führt **Dr. Ulrich Cubasch** aus: Was hier aussehe wie ein harmloser Anstieg, sei bezogen auf die letzten 1000 Jahre eine sehr rasche Zunahme. Das CO₂ in der Atmosphäre sei lange Zeit relativ konstant geblieben und steige erst in letzter Zeit extrem an. Im Vergleich zu früheren Erdzeiten könnten in den letzten 400.000 Jahren keine vergleichbaren CO₂-Anstiege festgestellt werden. Diese Werte könne man nun umrechnen in Strahlungsantrieb, d. h. den Erwärmungsfaktor in Watt pro m². Entsprechende Berechnungen lägen vor für alle Spurengase, die in der Atmosphäre vorhanden sind. Der Sachverständige **Dr. Cubasch** verweist hierzu auf die im Materialband angefügten Anlagen. Die Treibhausgase CO₂, Methan, Lachgas und FCKW besäßen einen starken Erwärmungsfaktor von insgesamt 2,5 Watt pro m² seit 1750. Dies gelte auch für troposphärisches Ozon. Stratosphärisches Ozon hingegen habe eine "kühlende" Wirkung, d. h. bei Reduzierung des Ozoneintrages entfall gleichzeitig ein klimatischer Abkühlungsfaktor. Aerosole seien hingegen

ein sehr unsicherer Faktor: Diese hätten haben zum Teil kühlenden, zum Teil erwärmenden Einfluss. Flugverkehr habe einen leicht erwärmenden Einfluss, allerdings mit großer Unsicherheit. Von Landnutzungsänderungen z. B. der Abholzung von Wäldern, ginge ein leicht negativer Einfluss aus, allerdings sei dieser durch die Veränderung der Albedo und nicht durch einen variierenden Kohlendioxidgehalt bedingt. Bei der Sonneneinstrahlung gehe man davon aus, dass sie einen leicht positiven Einfluss hat.

Was machten all diese Effekte für die Temperatur aus? Der **Sachverständige** präsentiert hierzu eine Grafik zur Temperaturentwicklung der letzten 1000 Jahre. Die hierzu erforderlichen Daten würden u. a. aus Baumringanalysen u. ä. gewonnen. Die Daten zeigten eine längerfristige Abkühlung seit dem 1. Jahrtausend und erst in den letzten Jahrzehnten eine sehr starke Erwärmung. Dabei waren die letzten 30 Jahre der Erdzeit die wärmsten seit 1000 Jahren. Der Sachverständige **Dr. Ulrich Cubasch** legt eine Grafik für ein Indikatorensystem vor, aus dem jeweils zu entnehmen ist, inwieweit die vorhandenen Daten Rückschlüsse auf Veränderungen im Klimasystem zulassen. Hierbei bedeuteten drei Sterne, dass eine recht eindeutige Indikation von Klimaveränderung vorliege. Ein Stern bedeute, dass die Zusammenhänge relativ schwach ausgeprägt seien und ein Fragezeichen schließlich, dass entsprechende Unsicherheiten bestünden. Über die Relevanz antarktisches See-Eises sei wenig bekannt; arktisches See-Eis hingegen sei mit einem Stern klassifiziert, d. h. es hat in den letzten 20 Jahren erkennbar abgenommen. Die troposphärische Temperatur habe zugenommen, angezeigt durch zwei Sterne. Die Meeresoberflächentemperatur habe ebenfalls zugenommen; hier sei eine Indikation durch drei Sterne gegeben. Die Stratosphäre habe sich abgekühlt (zwei Sterne).

Ähnliches könne nun auch für hydrologische Parameter durchgeführt werden, d. h. Niederschläge und Stürme. In den Extratropen seien keine signifikanten Zunahmen von Sturmhäufigkeiten zu erkennen. Deutlich sei hingegen der Anstieg der Niederschlagsintensität.

Dies alles sei ein Rückblick auf die vergangenen 1000 Jahre gewesen. Nun stelle sich die Frage, wie sich die Entwicklung in der Zukunft darstellen werde. Der **Sachverständige** stellt hierzu verschiedene Szenarien-Familien vor, u. a. ein „High-tech-

Szenario“, das von einer elaborierten technologischen Entwicklung ausgehe, ferner ein ökologisches sowie ein business-as-usual-Szenario für die Klimaentwicklung. Im Gegensatz zu früheren Szenarien gehe man mittlerweile davon aus, dass die Schwefeldioxidemission und damit die Konzentration an Sulfataerosolen durch veränderte Entwicklungen in China und durch den Zusammenbruch des Ostblocks weniger gravierend sein werden. Der **Sachverständige** stellt, hierauf gestützt, verschiedene Modellrechnungen vor für die Temperaturentwicklung der nächsten 100 Jahre. Hierbei ergebe sich je nach Szenario eine Bandbreite der Temperaturentwicklung von 1,4 bis 5,8 Grad. Dabei bewegten sich die ökologischen Szenarien naturgemäß an der unteren, die konventionellen Szenarien hingegen an der oberen Grenze. Man gehe ferner davon aus, dass Meereis insgesamt abnehmen werde (drei Sterne gemäß Indikatorsystem), dass das Land sicher künftig schneller erwärmen wird als die Ozeane (drei Sterne). Auch wird angenommen, dass die Temperatur nachts schneller steigen wird als tagsüber. Die Stratosphäre kühle sich ab, die Troposphäre werde sich demgegenüber erwärmen. Dies seien Ergebnisse, die allen Modellen gemeinsam seien. Bei den hydrologischen Parametern sei aber immer noch unsicher, ob die Sturmintensität in den nördlichen Regionen zunehmen werde. Allerdings gehe man davon aus, dass die Niederschläge in den Subtropen und auch in den mittleren Breiten insgesamt stiegen. Ferner dürfte auch der Wasserdampf in der Atmosphäre zunehmen. Für den Meeresspiegel rechne man vor dem Hintergrund der Szenarien mit einem Anstieg von ca. 9 bis 88 cm in den nächsten 100 Jahren. Der **Sachverständige** weist allerdings darauf hin, dass sich der Meeresspiegelanstieg extrem langsam vollziehe. Bei einer Hochrechnung der weiteren Entwicklung auf die nächsten 1000 Jahre ergäben sich deutlich höhere Werte.

Der Sachverständige **Dr. Ulrich Cubasch** macht anschließend Ausführungen zu verschiedenen Nachweismethoden der Klimaänderung. Insbesondere der extreme Anstieg in den letzten 100 Jahren werde als Indiz dafür genommen, dass ein anthropogener Einfluss auf das Klima vorliege. In Modellrechnungen hätte bei natürlicher Schwankung des Klimas kein entsprechender Effekt reproduziert werden können.

Der **Sachverständige** fasst seine Ausführungen wie folgt zusammen: .Bei den neuen Szenarien ergebe sich damit eine Temperaturerhöhung, die etwas höher ist als

die 1,5 bis 4,5 Grad, die 1990 vorhergesagt worden sind. Dieses komme durch die neuen Szenarien und die geringere Aerosolbelastung In den Beobachtungen mehrten sich insgesamt die Anzeichen, dass sich das Klima wandle. Die Aussage aus dem letzten IPCC-Bericht von 1995, dass Anzeichen für einen menschlichen Klimaeinfluss gegeben sind, werden im neuen IPCC-Bericht unterstützt und gestärkt.

Der **Vorsitzende** dankt dem Sachverständigen für sein Statement und erteilt Herrn **Prof. Dr. Henry D. Jacoby** das Wort.

I.3 Statement Prof. Dr. Henry D. Jacoby

Der **Sachverständige** betont zunächst, dass nach den naturwissenschaftlichen Ausführungen nunmehr wirtschaftliche Fragen in den Mittelpunkt rückten. Er beschränke sich dabei auf vier zentrale Aspekte. Erstens - wie bewerte man ökonomisch die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Klimaforschung und welcher Grad an Sicherheit sei dabei derzeit erreicht. Zweitens - Grenzen der wirtschaftswissenschaftlichen Analyse im Bereich der Klimafolgenforschung. Drittens - ökonomische Bewertung von Klimawirkung sowie der Nutzeffekte von Klimaschutzmaßnahmen. Und schließlich viertens - Ausmaß und Stand von Lerneffekten bei der Bewertung und Beurteilung von Klimafolgen und Klimaschutzmaßnahmen.

Zum ersten Punkt: **Prof. Jacoby** spricht sich dafür aus, nicht zu versuchen, wirtschaftliche Analysen nach der Fähigkeit zu beurteilen, langfristig alles vorherzusagen zu können. Dies sei ohnehin grundsätzlich nicht möglich. Vielmehr komme es auf die Fähigkeit an, die einzelnen Unsicherheitsfaktoren einzuschätzen. Darum solle sich ein Gremium wie die Enquete-Kommission hinsichtlich einer Prognose von folgendem leiten lassen. Es sei zunächst einmal herauszuarbeiten, welcher Grad an Genauigkeit man für einen Vorhersagezeitraum von 100 Jahren überhaupt erreichen könne. Wodurch würden die zugehörige Ungewissheit bestimmt? In unserem Fall der Voraussage der CO₂-Emissionen und der Auswirkung auf das Klima seien die Faktoren Wirtschaftswachstum, demographischer Wandel und die Veränderung in der Produktivität die entscheidenden Einflussfaktoren. Von der Entwicklung dieser Grö-

ßen könne man dann darauf schließen, wie leicht es sein werde, einen bestimmten Strukturwandel in der Wirtschaft herbeizuführen, also beispielsweise, wie schnell man von kohlenstoffreichen auf kohlenstoffarme Energiequellen übergehen könne und wie sich unter diesen Bedingungen die Energieeffizienz die Energiepreise weiter entwickeln würden. Dies seien auf lange Sicht gesehen die bestimmenden Faktoren, die man bei einer Prognose im Auge behalten müsse. Auf kurze Sicht gesehen, kämen noch weitere Faktoren hinzu: Insbesondere die Geschwindigkeit, mit der sich Veränderungen in der Wirtschaft vollziehen können. Daraus werde auch der Unterschied zwischen einer naturwissenschaftlichen und einer sozialwissenschaftlichen Analyse recht deutlich: In der Sozialwissenschaft, insbesondere auch in der Ökonomie habe der Wissenschaftler ein zusätzliches Erkenntnis-Problem vor sich: Neben den reinen naturwissenschaftlichen Faktoren wirke hier auch ergänzend der Faktor Mensch. Die menschliche Einfallskraft und das menschliche Organisationsvermögen seien sehr schwer vorhersagbar. Der Bewertungsstandard für eine Prognose sollte also berücksichtigen, wie weit es möglich sei, diese Ungewissheiten und die dahinter stehenden Mechanismen in der Prognose zu erkennen und durch die Prognose deutlich zu machen. Der Politik komme dabei die Aufgabe zu, diese Entwicklung langfristig zu steuern.

Zum zweiten Aspekt der Wahl langfristiger politischer Maßnahmen erklärt **Prof. Dr. Henry D. Jacoby**, dieses Problem sei nur zu lösen, wenn grundlegende technische Änderungen erfolgten. Die Reduktion, die wir bräuchten, um die Atmosphäre zu stabilisieren, müsse mit erheblichem technischen Aufwand und mit intensiven Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen voran gebracht werden. Denn es komme darauf an, keine Ressourcen zu vergeuden und alle Einflussfaktoren zu identifizieren, alle Senken zu berücksichtigen und schließlich die Umsetzung von entsprechenden Maßnahmen so kostengünstig wie möglich zu gestalten.

Zu den Kosten bei der Vorgabe fester quantitativer Ziele führt der **Sachverständige** folgendes aus: Im Vorfeld von Kyoto seien in diesem Zusammenhang zwei grundlegende Probleme identifiziert worden: Zum einem seien Ziele festgelegt worden, ohne dafür eine exakte Definition vorzunehmen. Mit diesem Problem schlage man sich heute noch herum. Wichtig sei auch die Wahl der Ziele selbst gewesen. Wir hätten

heute festgelegte Ziele für einen bestimmten Zeitraum von 2008 bis 2012. Wir hätten aber immer noch keine Schätzung der dafür notwendigen Kosten, weil die Kosten ganz einfach davon abhängen, wie sich das weitere Wirtschaftswachstum entwickle, wie der Strukturwandel von statten gehe und wie schnell wir Veränderungen bei der Steigerung der Energieeffizienz herbeiführen könnten. Daher sei der quantitative Aufwand nicht exakt prognostizierbar. Aus diesem Grunde stünden die Regierungen vor dem Dilemma, dass sie die Ziele festlegen müssen, obwohl sie nicht wüssten, wieviel diese Maßnahmen kosten werden. Die Spannweite in den Vorhersagen für einen Kostenaufwand könnten dabei leicht im Verhältnis 5 bis 10 variieren. Zudem sei für die Regierungen nicht abschätzbar, ob letztendlich ihre Maßnahmen Erfolg haben würden. In der Folge brauchten die Regierung also eine Art Sicherheitsventil, einen Deckel, der garantiert, dass die Kosten ein bestimmtes Maß nicht überschreiten. Damit stünde man am Beginn langer Verhandlungen zwischen den einzelnen Staaten.

Zum dritten Aspekt, zu den Grenzen ökonomischer Prognosen erklärt der **Sachverständige** folgendes: Die zentrale Frage laute hier, wie gut wir darin seien, verschiedene Einzelgrößen aufzuaddieren und eine zentrale Maßgröße daraus zu ermitteln. Die Aspekte Land- und Forstwirtschaft, Erholung usw. könnten wir recht gut prognostizieren. Hier lägen aber nicht die echten Probleme. Die Probleme seien vielmehr dort zu sehen, wo etwas außerhalb des Marktes, z. B. in der Umwelt geschehe. Um hier im gewissen Maß Vorhersagen treffen zu können, müssten die Ökonomen weit über ihren allgemeinen Bereich hinaus gehen, um hier allgemeine Maßgrößen für bestimmte Effekte herauszuarbeiten - oder eben eine Methodik entwickeln, wie wir die Effekte aus verschiedenen Bereichen miteinander vergleichen und addieren können. Eines der größten Probleme bei der Bewertung der Auswirkungen einzelner Aspekte auf das Klima liege darin, dass wir über keine gemeinsamen Indikatoren für eine Bewertung verfügten. Die Beschäftigung mit den Möglichkeiten der Bewertung nicht marktbedingte Effekte wäre für diese Enquete-Kommission eine anspruchsvolle Aufgabe. Auch diese Effekte müssten berücksichtigt werden, ohne dass man sie gleich in Mark oder Dollar quantifizieren könne. Wir bräuchten also aggregierte nicht marktbezogene Maßgrößen. Andererseits sei es aber in der letzten Zeit immer besser gelungen, den Nutzen von Umweltschutzmaßnahmen im Zusammenhang mit

den Aspekten Wachstum, Handel und Beschäftigung zu bewerten. Im Bereich der Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen auf das Lebensumfeld in den Städten hätten wir zur Zeit noch Defizite. Es bestehe hier beispielsweise ein ganz enger Zusammenhang zwischen der Luftverschmutzung in den Städten - Stichwort : Ozon - und den Problemen der verschiedenen Treibhausgase, die zur globalen Erwärmung beitragen. Auf diesem Gebiet gebe es noch erheblichen Forschungsbedarf.

Hinsichtlich der Qualität wirtschaftliche Analysen, wie sie uns heute zur Verfügung stünden, sei folgendes zu bemerken: Die Ökonomie könne leider die Auswirkungen auf eine Volkswirtschaft als Ganzes nicht umfassend beschreiben. Die bereits angesprochenen nicht quantitativen Indikatoren würden in den Betrachtungen oftmals nicht angemessen berücksichtigt. Es sei beispielsweise wichtig, die Ungewissheiten herauszuarbeiten, die den Einzelbetrachtungen zu Grunde liegen, oder auch die Marktwirkung zu beschreiben, die sich bei potenziellen Klimaveränderungen ergäben. An einer Verbesserung der Qualität der Aussagen werde gegenwärtig aber stetig gearbeitet, so dass die Aussagen, die uns in 10 Jahren zur Verfügung stehen würden, doch ein deutlich höheres Niveau als heute aufweisen würden. Das heiße nicht zwangsläufig, dass wir in Zukunft korrektere, genauere und punktuell exaktere Prognosen bekommen werden. Die Unschärfe und die Ungewissheit blieben jedenfalls bestehen. Die Auswirkungen politischer Maßnahmen zur Risikoverminderung würden auch in Zukunft schwer einzuschätzen sein.

Als nächstes nimmt Herr **Prof. Dr. Gernot Klepper** vom Institut für Weltwirtschaft die Gelegenheit zu einem einleitenden Statement wahr.

I.4 Statement Prof. Dr. Gernot Klepper

Der **Sachverständige** konzentriert sich bei den Antworten auf die Fragen 16 bis 19 des Fragenkataloges und auf methodische Fragen. Die methodischen Probleme erläutert er anhand einer Folie zur Systemverschränkung von Wirtschaft und Umwelt. Aufgrund der Darstellung werde deutlich, dass die Wirtschaft bestimme, was an Treibhausgasemissionen emittiert werde; das Klimasystem wiederum determiniere die

resultierende Klimaänderung. Sollte die Wirkung von Klimaänderungen ökonomisch bewertet werden, dann müsse letztendlich diese Kopplung von Klimaänderungen und Ökonomie betrachtet und modelliert werden. Denn die Wirtschaft bestimme das Maß an Emissionen und das Weltklima daraufhin die Veränderungen, die wiederum Rückwirkungen auf die wirtschaftliche Tätigkeit haben. Daraus ergäben sich nun für die ökonomische Modellierung eines Klimaproblemens drei zentrale Aspekte: Man müsse gute Informationen aus dem Klimasystem über die Impacts bekommen. Zweitens müsse das, was sich an Umständen in der Welt verändert und was ökonomischen Einfluss haben kann, sehr gut erfassbar sein. Und zum Dritten müsse das gesamte System dann auch noch vernünftig modelliert werden. Darüber hinaus dürfe man nicht vergessen, dass wir es hier mit Langzeitbetrachtung zu tun hätten. Daraus ergebe sich, dass die Systeme im Prinzip in die Zukunft fortgeschrieben werden müssten.

Der zweite Aspekt, der zu berücksichtigen sei, ist der, dass es sich dabei um ein globales Problem handle. Dies habe zur Konsequenz, dass auch weltweit modelliert werden müsse. Die Modellierung einzelner isolierter Regionen allein reiche für eine solche Betrachtung nicht mehr aus. Das heiße, die Interaktion sei global und wir müssten eigentlich eine Weltwirtschaft modellieren - eine Aufgabe, die zum heutigen Zeitpunkt noch nicht lösbar sei; das wäre der dritte Aspekt, der zu berücksichtigen sei. Die Konsequenzen daraus sind: Es würden gekoppelte Systeme benötigt, die aber heute noch nicht ausgereift vorlägen. Die Veränderungen, die durch den Klimawandel hervorgerufen werden können, wirkten nicht nur auf marktwirtschaftliche Prozesse, sondern auch auf nichtmarktwirtschaftliche Prozesse. Und damit stelle sich die schwierige Frage der Bewertung außermärklicher Effekte. Zum Dritten müssten ökonomische Modelle Klimaänderungen und weltwirtschaftliche Prozesse über einen sehr langen Zeitraum abbilden, hundert Jahre oder mehr. Bisher ließen sich solche Modelle noch nicht entwickeln. Was wir also tun könnten, sei die Entwicklung von Szenarien, die über Trends, die wir für einzelne Einflussfaktoren für wahrscheinlich halten, bestimmte gesamt- und weltwirtschaftliche Entwicklung prognostizierten. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt der Wissenschaftsentwicklung sei sicherlich der Zeitraum, über den man einigermaßen verlässliche Szenarien abgeben könne, auf 20 bis 30 Jahren beschränkt.

Prof. Klepper wendet sich anschließend der Frage zu, wie leistungsfähig die aktuellen ökonomischen Modelle sind. Wenn man, wie schon ausgeführt, nur in einem gesamtwirtschaftlichen Zusammenhang modellieren könne, dann habe man auch automatisch die indirekten Effekte mit einbezogen, denn die Rückkopplungswirkungen von Klimaänderungen, von Energiepolitik, von Energieverbrauchsänderungen seien so groß, dass sie nur im gesamtwirtschaftlichen Modellen unter Einbeziehung der indirekten Effekte möglich seien. Bei den externen Effekten gebe es große Probleme. Externe Effekte würden in ökonomischen Modellen derzeit überwiegend als sogenannte Partialmodelle untersucht. Das seien z. B. Modelle, die sich ansehen, wie hoch der Wert eines Biotops im Wattenmeer für die Anlieger zu bewerten wäre und nicht wie die Auswirkungen der Klimaänderung global in 30 Jahren seien. Es gebe also Modelle für Partialanalysen, nicht aber für gesamtwirtschaftliche Analysen. Diese Partialmodelle würden weitgehend auf aktuelle Fragen angewandt. Wenn wir aber in die Zukunft gehen wollten, dann heiße das ja, dass wir die externen Effekte auf Menschen bewerten wollen, die heute noch gar nicht geboren wurden. Dies sei kaum zu lösen. Die Analysetechniken für externe Effekte würden zur Zeit für Klimawirkungsforschungen nicht eingesetzt. Dagegen sprächen zwei Gründe - der lange Zeitraum und die gesamtwirtschaftliche Problematik. Wie ließen sich nun langfristige wirtschaftliche Entwicklungen darstellen? Zum heutigen Zeitpunkt ließen sie sich ausschließlich in Szenarien darstellen. Dazu brauche man numerische Modelle, die die Interaktionen der Regionen über die Zeit und die Interaktionen von unterschiedlichen Sektoren innerhalb einer Region abbilden; derartige Modellbetrachtungen seien heute möglich. Verschiedene Institutionen hätten entsprechende Modelle entwickelt, beispielsweise das MIT oder die OECD, aber auch das Institut für Weltwirtschaft in Kiel.

Zur Qualität der Modellierung ökonomischer Wachstumsprozesse lasse sich folgendes festhalten: Es gebe in diesem Zusammenhang drei Faktoren, die zu betrachten seien: Die Leistungsfähigkeit von ökonomischen Modellen für langfristige Wachstumsprozesse hänge einerseits vom Stand der Theorie ab, zweitens von der Fähigkeit, mit der wir stochastische Ereignisse modellieren könnten und drittens davon, was wir heute über den Zustand der Weltwirtschaft wüssten und ob diese Informatio-

nen ausreichen, um damit mit Hilfe von Szenarien in die Zukunft blicken zu können. Die Entwicklung der Theorie von Wachstumsprozessen habe in den letzten Jahren nicht im Mittelpunkt der Untersuchungen gestanden. So könnten ungleichgewichtige Wachstumsprozesse derzeit nur schlecht abgebildet werden. Dies sei natürlich insofern ein Problem, da wir in der Weltwirtschaft regelmäßig ungleichgewichtige Wachstumsprozesse vorfinden: Einige Regionen wüchsen sehr schnell, andere hingegen langsamer. In der Theorie sei dies also noch nicht besonders gut gelöst, und dieses Manko übertrage sich natürlich auch in die angewandte Forschung und Modellierung. Der zweite Punkt: Wachstumsmodelle könnten nur dynamische Interaktionen von Wirtschaftsentscheidung innerhalb eines speziellen vorgegebenen institutionellen und wirtschaftspolitischen Rahmen abbilden. Sie hätten daher nur innerhalb dieses Rahmens Gültigkeit, will man aber in die Zukunft blicken, dann haben wir überhaupt keine Vorstellungen, was für Krisen oder Katastrophen in der Zukunft zu erwarten sind, die diesen Rahmen gründlich verändern könnten. Der **Sachverständige** verweist hier auf die Entwicklungen in den GUS-Staaten: Der Zerfall der Sowjetunion habe natürlich auch ökonomische Rückwirkungen und Rückwirkungen auf die Emissionen, auf die internationalen Handelsströme oder beispielsweise auch auf den Weltölmarkt. Solche einschneidenden Ereignisse könnten derzeit mit den Modellen nicht abgebildet werden. Szenarien stünden also immer unter der Maßgabe bestimmter institutioneller Entwicklungen. Man könne die Annahmen ändern, aber man müsse dann vorher definieren, in welcher Richtung diese Änderungen erfolgen sollen. Als letztes sei anzumerken, dass für die Modellierung gute statistische Informationen benötigt würden, also konsistente Datensätze für die Modellierung weltwirtschaftlicher Entwicklungsprozesse. In den letzten 10 Jahren sei sehr viel an der Entwicklung solcher Datensätze gearbeitet worden. Man sei heute in der Lage, gesamtwirtschaftliche Modelle mit solchen Datensätzen zu modellieren, was vor einigen Jahren noch nicht möglich gewesen sei. In Bezug auf die Höhe von Emissionsminderung und Anpassungsmöglichkeiten, die für möglich gehalten werden, müsse man sich zunächst einmal über die Zielstellung einer solchen Aussage im Klaren werden: Eine Zielstellung in diesem Sinne könnte folgende These sein: Klimapolitische Maßnahmen sollten eine langfristige Weichenstellung für eine zukünftige Wirtschaftsstruktur darstellen, die von fossilen Energieträgern weitgehend unabhängig ist. Eine solche Entwicklung werde auf jeden Fall eintreten, es sei nur die Frage, zu welchen

Zeitpunkt. Wenn eine solche Zielfunktion als Orientierung genutzt werde, dann gebe es zwei Säulen, an denen sich wirtschaftspolitische Eingriffe orientieren sollten. Die eine Säule seien die externen Effekte der Nutzung fossiler Brennstoffe, die durch die heutigen Energieträgerpreise nicht widergespiegelt werden. Insofern müsse es also eine Korrektur geben, dann ergäben sich auf der anderen Seite auch Anreize für einen sparsamen Umgang mit den Energieträgern und den Ressourcen. Die zweite Säule bestehe darin, den Akteuren auch entsprechende Substitutionsmöglichkeiten einzuräumen, sich von fossilen Brennstoffen zu verabschieden. Solche Substitutionsmöglichkeiten müssten ausgebaut und verbessert werden. Dies könne man letztendlich nur dadurch tun, indem man die Fähigkeit zur Substitution verbessere. Die gesamten gesellschaftlichen Infrastrukturen müssten einen solchen Substitutionsprozess unterstützen. Zu denken sei hierbei an Siedlungsstrukturen, an die Verkehrsinfrastruktur, an Institutionen allgemein, an Schulen, Universitäten, aber auch an die technologische Forschung bis hin zur Lebensplanung und allgemeinen Lebensweisen.

Der **Vorsitzende** dankt dem Sachverständigen **Prof. Dr. Gernot Klepper** für seine Ausführungen und erteilt als nächstem Herrn **Dipl.-Geograph Thomas Loster** das Wort.

I.5 Statement Dipl.-Geograph Thomas Loster

Der Sachverständige **Thomas Loster** erklärt, dass die Münchener Rückversicherung seit 25 Jahren akribisch elementare Schadensereignisse und Naturkatastrophen analysiere. In diesem Zusammenhang interessiere natürlich die Frage, ob Naturkatastrophen in einem wärmeren Klima zunehmen oder nicht. Pro Jahr würden von der Münchener Rückversicherung etwa 750 elementare Schadensereignisse analysiert; wetter- und klimabedingte Schadensereignisse seien hier ebenso inbegriffen wie Erdbeben. Die Jahresschadenssumme belaufe sich auf etwa 100 Milliarden US-Dollar; die korrespondierenden Versicherungsleistungen variierten zwischen 10 und 50 Milliarden US-Dollar.

Der **Sachverständige** weist darauf hin, dass die Naturkatastrophen weltweit selbst dann ansteigen würden, wenn die Natur selbst keine Veränderung zeige. Dieser Sachverhalt wird anhand einer Folie näher erläutert. Als Grund nennt **Herr Loster** zunächst die starke Zunahme der Weltbevölkerung. Allein die Millionenstädte hätten sich seit 1950 etwa vervierfacht. Wenn sich der Natur mehr Menschen "in den Weg" stellten, dann würden naturgemäß auch mehr Menschen von Naturereignissen betroffen sein mit der Folge entsprechend zahlreicherer und schadensträchtigerer Katastrophen.

In einer zweiten Folien-Darstellung wird über der Zeitachse die Anzahl der Schadensereignisse gezeigt, die die Versicherungswirtschaft mehr als eine Milliarde US-Dollar gekostet haben. Von den dreißig Ereignissen, die in dieser Darstellung aufgeführt sind, seien nur zwei Ereignisse auf ein Erdbeben zurückzuführen. Alle anderen Ereignisse seien wetter- oder klimabedingte Katastrophen wie Überschwemmungen, Stürme, Brände. In den 90er Jahren habe es nach Angaben des Sachverständigen eine wahre Explosion solcher Schäden gegeben. Die Anzahl der Wetter- und Überschwemmungskatastrophen hätten sich in den 90er Jahren im Gegensatz zu den 60er Jahren etwa vervierfacht, die volkswirtschaftlichen Schäden hingegen hätten sich verachtfacht, und die Versicherungsleistungen hätten sich verzwölf- oder sogar verdreizehnfacht. Hauptursache für diese Entwicklung sei nicht die Veränderung der Wetter- oder Klimasituation, sondern vor allen Dingen das Wachstum der Weltbevölkerung und die Entwicklung der versicherten Werte in exponierten Gebieten. Für die Versicherungswirtschaft sei die wichtigste Erkenntnis der Klimatologen die, dass die Starkniederschläge mit ihren Extremwerten deutlich zunehmen. Aus USA, Russland und Südafrika gebe es dazu ja bereits eindeutige Belege. Dort habe man ermittelt, dass die Anzahl der Starkregentage deutlich zunehme; und derart extreme Niederschläge seien natürlich die technischen Systeme wie z. B. die Kanalisation u. ä. nicht eingerichtet, was dann extreme Schäden zur Folge habe.

In der nächsten Folien-Darstellung zeigt der **Sachverständige** die großen Naturereignisse der letzten Jahre in Deutschland, die allesamt Randbedingungen gehabt hätten, die in einem wärmeren Klima häufiger anzutreffen sein werden. Als Beispiel führt **Herr Loster** die Wintersturmserie 1990 mit Stürmen wie "Vivian" und "Wiebke"

an, die in Deutschland 4,3 Milliarden US-Dollar gekostet habe, europaweit 15 Milliarden US-Dollar. Diese Sturmserie sei durch einen sehr milden Winter geprägt gewesen, bei dem die Schneedecke über Europa nicht ausgeprägt gewesen sei. Normalerweise bilde sich über einer Schneedecke ein Kältehoch mit der Folge, dass Stürme nur schwer nach Europa eindringen könnten, da diese vorher abgelenkt würden. In dem fraglichen Jahr habe die Schneedecke und damit das blockierende Kältehoch gefehlt. Als Folge davon seien die Stürme sehr tief nach Europa eingedrungen und hätten großen Schaden angerichtet. Der **Sachverständige** führt beispielhaft die Überschwemmungen von Rhein und Mosel an. Auslösendes Moment sei hierbei eine westzyklonale Wetterlage mit 17 Tagen Regen in Folge gewesen, die zu einer natürlichen Versiegelung unserer Böden geführt habe. Dies bedeute, die Böden seien bereits mit Wasser gesättigt gewesen und überschüssiges Niederschlagswasser konnte nicht mehr aufgenommen werden. Es sei zu einem schnellen Abfließen des Regenwassers gekommen und es hätten sich Hochwasserwellen ausgebildet. Solche Wettererscheinungen würden in der Zukunft wahrscheinlich häufiger zu beobachten sein, denn wir hätten bereits heute schon und würden in Zukunft noch stärkere Niederschläge in den Wintermonaten bekommen. Darüber hinaus gebe es zahlreiche Anzeichen, dass sich die Niederschlagscharakteristiken ändern werden: In der Regel von den Sommerniederschlägen auf die Winterniederschläge - mit Wintern, die infolge der milderen Temperaturen keine Schneedecke mehr ausbildeten. Wir könnten demnach drei Faktoren ausmachen, die für die Versicherungswirtschaft, aber auch für die betroffenen Bürger in Zukunft eine größere Rolle spielen würden. Das seien die milderen Winter, mit der Folge von neuen Sturmdimensionen im Landesinneren, die zunehmende Versiegelung der Böden mit der Konsequenz von Hochwasserwellen oder lokal extremen Niederschlägen, wie wir sie seit Jahrhunderten nicht gekannt hätten und die enorme Schäden anrichteten. Mildere Winter heiße allerdings nicht, dass wir überhaupt keinen Schnee mehr haben werden, das Klima werde nach wie vor sehr variabel sein und wir würden auch nach wie vor eine Folge sehr extremer Winter und warmer Winter erleben. Der **Sachverständige** verweist beispielhaft auf den "Lawinenwinter" 1999 mit mehr als 100 Todesopfern und mehr als 1000 Schadlawinen im gesamten Alpenraum.

Herr Thomas Loster wendet sich anschließend der Frage zu, wie die Versicherungswirtschaft dem Klimawandel gegenüber stehe und was sie angesichts der neueren Entwicklungen zu tun gedenke. Da auch ein konstantes Klima höhere Schäden produziere, werde ein wärmeres Klima die Risikosituation deutlich verschärfen. Dies werde in Deutschland partiell zu beobachten sein, aber mit Sicherheit weltweit. Die Versicherer hätten sich darauf natürlich entsprechend vorbereitet und Instrumente geschaffen, mit denen sie noch über lange Zeit mit der steigenden Schadenlast zurecht kommen würden. Dazu gehörten insbesondere der Ausschluss bestimmter Gefahren oder auch Ausschluss des Versicherungsschutzes für bestimmte Gebiete. Beispielsweise werde für einen Standort am Lawinenhang keine Lawinenversicherung mehr gegeben, und natürlich gelte nach wie vor, wenn der Preis stimme, sei alles versicherbar. Die Erfahrung zeige aber auch, dass wenn die Schadenspotenziale dramatisch ansteigen, sich die Versicherungswirtschaft zurückziehe und dann vermutlich auch nicht mehr alle Schäden übernehmen werde. Die Prämien würden retrospektiv ermittelt, nicht prospektiv. Die zukünftige Schadenserwartung werde immer aus geschehenen Schäden abgeleitet werden. Wenn sich unter diesen Bedingungen die Schadenssituation dramatisch verschärfe, dann werde die Versicherungswirtschaft der tatsächlichen Schadenssituation immer hinterherlaufen. Die Versicherer hätten ein gutes Beispiel gegeben, wie sie sich verhalten, wenn die Schadenspotentiale zunehmen und wenn sie sich zu unsicher sind über die Eintrittswahrscheinlichkeiten solcher Schadensfälle - dies sei die Sturmflutversicherung. Die Sturmflut werde von den Versicherern schlichtweg nicht mehr versichert, weil die Schadenspotentiale in einem solchen Fall sehr hoch seien. Es sei hochgerechnet worden, dass bei einer großen Sturmflut durchaus Schäden bis zu einer Höhe von 60 Milliarden DM auftreten könnten. Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses sei sehr gering, daher könne auch keine vernünftige Prämie abgeleitet werden und deshalb werde dieser Schadensfall auch nicht versichert. Sollte sich also in einzelnen Regionen die Schadenlast deutlich erhöhen – was für Deutschland z. Zt. nicht absehbar sei – dann werde sich die Versicherungswirtschaft langfristig aus diesem Geschäft zurückziehen, und die Schadenlast werde teilweise auf den Staat zurückfallen. Letztendlich werde eine stark ansteigende Schadenlast nur noch mit einer Risikopartnerschaft bewältigt werden können. Diese sehe so aus, dass die Betroffenen von ihren Schäden einen Teil übernehmen, etwa durch einen Selbstbehalt, wie er

etwa aus Haftpflichtversicherungen für Automobile bekennt sei. Einen adäquaten Selbstbehalt vorausgesetzt, werde der Betroffene, also der Versicherte eine gute Schadensvorsorge treffen. Nach wie vor werde dann der Erstversicherer, also der Partner des Versicherungskunden, einen Teil der Haftungen übernehmen und die Resthaftung an einen Rückversicherer zurückgeben, der dann eventuell auch nur noch limitiert hafte. Schließlich bedeute diese Risikopartnerschaft, dass sich der Staat hier vor neuen Aufgaben gestellt sehe und eventuell auch auf der Verordnungsseite aktiv werden müsse, um in besonderen exponierten Gebieten eine bessere Risikosituation zu erreichen.

Als nächsten Sachverständigen bittet der **Vorsitzende** Herrn **Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese** von der Universität Frankfurt/Main, Institut für Meteorologie und Geophysik, um seine einleitenden Ausführungen.

I.6 Statement Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese

Herr **Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese** möchte sich bei seinen Ausführungen vor allem die Beobachtungsaspekte konzentrieren; und möchte dabei an das von Herrn Cubasch bereits Gesagte bzw. an das von Herrn Loster Vorgetragene anschließen. Die Beobachtungsdaten seien letztlich sehr vielfältig und unübersichtlich. Es habe sich daher bewährt, zunächst einmal eine spezielle Größe, nämlich die bodennahe Weltmitteltemperatur anzusehen. Dazu wird von Herrn **Prof. Schönwiese** eine Zusammenstellung entsprechender Daten gezeigt, die von einer englischen Forschergruppe immer wieder periodisch erarbeitet werde. Es handele sich dabei um die Jahresmittelwerte in Abweichung von einem Jahresreferenzmittelwert, also die sogenannten Anomalien oder relativen Variationen dieser bodennahen Weltmitteltemperatur von Jahr zu Jahr. Ab dem Jahre 1910 etwa gehe dieser Wert in die Höhe, dann stagnierte er eine ganze Zeit lang, in der letzten Zeit nun steige dieser Wert wieder an. 1998 sei das wärmste Jahr dieser Beobachtungsperiode gewesen. Dieses Jahr sei sogar das wärmste Jahr innerhalb der letzten 1000 Jahre gewesen. An der Grafik erkenne man weiterhin, dass es also nicht nur einen durchgängigen Trend gibt, sondern auch überlagerte Fluktuationen, das heiße also auch Abweichungen von Jahr

zu Jahr. Gehe man in die Regionalbetrachtungen, dann könnten die Abweichungen vom Trend deutlich stärker vortreten. Zur Demonstration werden durch den **Sachverständigen** die Verhältnisse Deutschland dargelegt. In Deutschland könne man deutlich länger zurückgehen, da die Temperaturaufzeichnungen länger zurück reichen. Es sei bis 1900 ein leichter Abkühlungstrend für Deutschland zu erkennen, danach trete eine Erwärmung ein, die deutlich stärker ist als im globalen Mittel. Das bedeute, in Deutschland hätten wir eine stärkere Erwärmung erfahren, als das in den globalen Mittelwerten zum Ausdruck kommt. Aber die Abweichungen von diesen Trends seien ebenfalls viel deutlicher geworden. Außer Frage stehe jedoch, dass der Langfristtrend anthropogenen Ursprungs sei. Zu den wichtigen Trends gehöre nicht nur der Trend des Temperaturverlaufs, sondern auch der Trend im Niederschlagsgeschehen. Er sei zum Teil in vielerlei Hinsicht bedeutsamer als derjenige der Temperatur. Man solle dabei darauf achten, ob sich solche Trends verstärken oder auch abschwächen, beispielsweise sei der Anstieg der Wintertemperatur für Deutschland sehr deutlich erkennbar. Die Wintererwärmung habe sich enorm verstärkt in Deutschland: Innerhalb von 30 Jahren um etwas mehr als 1,5 Kelvin. Gleichzeitig habe sich aber der Trend zur Niederschlagszunahme nicht verstärkt. Er sei auch bereits bei einem 100jährigen Maßstab sehr stark gewesen. Allerdings sei bei der Verteilung der Niederschläge über das Jahr ein Trend zu Winterniederschlägen zu erkennen: Im 30jährigen Betrachtungszeitraum um mehr als 20 %. Hinter diesen Trends steckten natürlich auch diverse extreme Ereignisse. Die extremen Ereignisse bei den Winterniederschlägen hätten zugenommen. Bei der Temperatur sehe es nicht unbedingt so aus. Allerdings betont der **Sachverständige** an dieser Stelle nochmals, dass einfache Vorstellungen über Klimawandel fehl am Platze seien. Betrachte man nun die Verhältnisse in Europa, so falle der sehr starke Niederschlagsrückgang im Mittelmeergebiet auf, der große Sorgen mache, wenn dieser Trend anhalte, weil er sicherlich für die Landwirtschaft zu ernsthaften Problemen führen werde, denn im Mittelmeerraum fallen die meisten Niederschläge im Winter. Im Winter werde dort der Bodenwasservorrat gebildet. Hier ließen sich Rückgänge um mehr als 50 % in 30 Jahren feststellen. Mit anderen Worten: Das Klima sei offensichtlich zum Teil bereits sehr drastisch im Wandel. Wir bemühten uns nun, diese Trends, insbesondere den Langfristtrend zu verstehen, aber auch die ganze Vielfalt der zeitlichen, räumlichen und jahreszeitlichen Schwankungen müsse verstanden werden.

Die nächste Darstellung von **Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese** zeigt eine Zusammenstellung des Anstiegs der Wintertemperaturen, des Anstiegs der Winterniederschläge und der jeweiligen Luftdruckgegebenheiten bezogen auf einen 30-Jahres-Horizont. Auch dem Laien sei bekannt, dass es ein Island-Tief und ein Azoren-Hoch gebe. Diese Luftdruck-Änderungskarte zeige uns nun, dass gerade im Bereich des Island-Tiefs, das sich bis nach Europa hinein erstreckt, der Luftdruck 30jährig systematisch abgenommen und im Süden zugenommen habe. Da, wo die stärkste Luftdruckzunahme zu verzeichnen sei, dort hätten wir auch die stärkste Niederschlagsabnahme. Das sei konsistent, man könne also die Beobachtung der einzelnen Klimatelemente einander zuordnen, zumindest bei den Trends. Daraus sei eben erkennbar, dass wir in den letzten Jahren die Tendenz zu einer intensiveren westlichen Strömung zu verzeichnen hätten, was dann automatisch zu mildereren, niederschlagsreicheren und mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch zu sturmreicheren Wintern führe. Für ein physikalisches Verständnis müsse man sich die sogenannten Strahlungsantriebe betrachten. Sie seien ein Maß dafür, wie stark ein einzelner Vorgang die Energie umsetze im System Atmosphäre und damit ein Maß für die Intensität des Klimafaktors. Hier gebe es verschiedene anthropogene, d. h. also auf den Menschen zurückzuführende Klimafaktoren, das sind die Treibhausgase mit etwa 2,5 Watt pro m^2 im Industriezeitalter. Dann seien die Partikel, die Aerosole zu nennen, wobei wir hier das Problem hätten, dass häufig nur die Sulfat-Aerosole betrachtet würden, deren Strahlungsantrieb aber im globalen Mittel negativ sei. Dies ließe sich aber nicht auf alle Regionen der Erde übertragen. Gleiches gelte in Summe eigentlich auch für die Treibhausgase. Bei den Aerosolen also sei die Abkühlung deutlich geringer als bei den Treibhausgasen, aber es handele sich hierbei um die sogenannten direkten Effekte. Bei den indirekten Effekten durch Aerosole sei man sich noch nicht ganz im Klaren, wie stark ihre Wirkung ist. Sie könne stärker sein. Ferner sei die Sonnenaktivität zu nennen, die ja von den Klimaskeptikern immer wieder ins Spiel gebracht werde, obwohl ihr Anteil bescheiden ausfalle. Dann gebe es noch die Auswirkung von vulkanistischer Tätigkeit, also insbesondere von Vulkaneruptionen. Der Effekt könne zeitweise mehr sein als der Treibhausgasantrieb. Allerdings sei der zeitliche Einfluss ein ganz anderer. Vulkanausbrüche führten zu kurzzeitigen Störungen von einigen wenigen Jahren, ihr Strahlungsantrieb sei negativ, d. h. sie hätten Abküh-

lungswirkung. Daraus ergebe sich für die Zeitspanne seit etwa 1850 eine Reaktion der bodennahen Weltmitteltemperatur auf die anthropogene Störung in der Größenordnung von 1 Kelvin, bei den Sulfatpartikeln liegt die Störung negativ bei etwa 0,2 – 0,4 Kelvin, bei Vulkaneruptionen einen erstaunlich geringen negativen Strahlungsantrieb. Natürlich gebe es darüber hinaus noch kompliziertere physikalische Hintergründe. Ein Vergleich von Beobachtungsdaten der Weltmitteltemperatur mit empirisch statistischer Analyse, also mit sogenannten neuronalen Netzen, die zwar den physikalischen Sachverhalt nicht widerspiegeln, mit denen man aber eine Vielzahl von Antrieben, wie beispielsweise Treibhausgase, Sulfatpartikel, Sonnenaktivität und Vulkanismus in solche Simulationen einbeziehen könne, zeige einen anthropogen verursachten Treibhauseffekt von etwa 1,1 Kelvin. Es ist bemerkenswert, dass sich diese Aussage durch die sehr viel aufwendigeren physikalischen Modellbildungen mit ziemlich großer Genauigkeit bestätigen lasse. Die Langfristtendenzen würden so sehr gut belegt. Ziehe man nun aus den gefundenen Trendentwicklungen alles das ab, was erklärbar sei, so bleibe der sogenannte Zufall übrig und daraus lasse sich die Höhe des anthropogen verursachten Treibhauseffektes ableiten. Das sei also der Klimafaktor, den wir dem Menschen über die Treibhausgase zuordnen. Auf das Jahr 1850 bezogen ergebe sich damit ziemlich genau der Wert von 1 Kelvin, also auch diese Betrachtung sei in sehr schöner Weise konsistent. Wie wahrscheinlich sei es nun, dass diese Zufallsdaten die Grenzen überschreiten? Es lasse sich ebenfalls darstellen, dass das Wirken des Menschen einen Einfluss habe, der nicht zufällig sei. 60 % der Variabilität unseres Klimas gehen auf den Einfluss des Menschen über den Weg von Treibhausgasen zurück, etwa 20 % auf andere Faktoren, das seien z. B. Sulfatpartikel, aber auch natürliche Faktoren, etwa 4 % gehen auf die Sonnenaktivität zurück, und etwa 20 % sind ein nicht erklärbarer Rest. Für Statistiker sei gesagt, dass dieser nicht erklärbare Rest auch noch ein wenig Struktur aufweise, was darauf hindeute, dass man einiges in der Größenordnung von etwa 5 % nicht erkannt hat. 15 % der Varianz seien dann wahrscheinlich tatsächlich zufälliger Natur. Betrachtet man nun die regionalen Mittelwerte, dann ergebe sich leider das etwas unschöne Ergebnis, dass nur 3 % der Variabilität des Klimas anthropogen zu erklären sind, hingegen seien 85 % der Variabilität nicht mehr erklärbar. Dahinter stecke, dass Niederschläge, Sturmereignisse und andere extreme Ereignisse sich einen stringenten Ursache-Wirkungs-Analyse entziehen.

Als Nächster trägt Herr **Prof. Ferenc Toth** vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung sein Statement vor.

I.7 Statement Prof. Dr. Ferenc Toth

Herr **Prof. Toth** möchte sich in seiner Beantwortung insbesondere auf die Fragen 17-20 konzentrieren. Die Untersuchungen zur langfristigen Kostenintensität der Stabilisierung der CO₂-Emissionen auf verschiedenen Niveaus kämen zu dem Ergebnis, dass die Kosten der 450 ppm-Grenze deutlich größer sei als bei der 750 ppm-Grenze. Der größte Teil der Kostenreduktion erfolge, wenn die Obergrenze von 450 auf 550 ppm ansteige. Bei recht engen kurzfristigen Klimaveränderungszwängen und einem Anstieg der Welttemperatur um etwa 2 Kelvin ergäben sich drastische Folgen für die künftigen politischen Entscheidungsnotwendigkeiten. Wenige stringente Minderungenzwänge böten ein höheres Maß an Flexibilität. Es bestehe wenig Divergenz zwischen der Politik bei einer perfekten Vorhersage und einer Strategie, mit der das Risiko des Klimawandels gehandhabt werden solle. Auch wenn ein Potenzial für Ereignisse geringerer Wahrscheinlichkeit vorliege, sei die Klimawandelpolitik ein sequentieller Entscheidungsprozess. Man müsse aus den eintretenden Veränderungen lernen, um daraus neue Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Zur nachhaltigen Entwicklung wird ausgeführt, dass der Klimawandel zwangsläufig zu Gewinnern und Verlierern führe, wobei es Unterschiede nach Regionen, Sektoren und zeitlichen Abläufen gebe. Ein großer Teil der Diskussion über die Lastenteilung und Gerechtigkeit beim Klimaschutz hänge mit allgemeinen sozialen und politischen Fragen zusammen, darunter auch mit der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung und der ungleichen Reichtumsverteilung zwischen den verschiedenen Staaten. Die Kostenverteilung könne von sehr unterschiedlichen Prinzipien abhängen, z. B. von der unterschiedlichen historischen Verantwortung, von der Fairness, der Verantwortungsbereitschaft und von Kombinationen von Faktoren. Die Ansichten seien geteilt, ob der Klimawandel nun die größte Gelegenheit biete, die gewaltigen Probleme der nachhaltigen Entwicklung zu lösen, die Probleme der globalen Reichtumsverteilung, oder ob eine Ausweitung des Rahmens für die komplexe Frage

des Klimawandels das Risiko mit sich bringe, weder das Klimaproblem zu lösen, noch die Aussichten auf eine nachhaltige Entwicklung zu verbessern.

Zur Entwicklung von Technologien mit der die Strategien zur Verminderung von Emissionen von Treibhausgasen vermindert werden sollen, ließe sich Folgendes feststellen: Die Prozesse, die in dieser Hinsicht eine Rolle spielten, seien zur Zeit kaum richtig verstanden worden. Aber größere Veränderungen hätten hinsichtlich des Wandels im Technologieeinsatz im Laufe der Jahrzehnte stattgefunden. Die Kostensenkung bei der Begrenzung von Treibhausgasen durch Technikeinsatz hänge stark davon ab, wie schnell diese Mittel eingesetzt, wie schnell sie transferiert und angewandt würden. Dies habe weitreichende Folgen für die Gerechtigkeit bei der Verteilung. Nun zur Entscheidungsfindung: Der Klimaschutz beginne bereits, wenn man kurzfristig ein geringeres Konzentrations- und Emissionsziel anstrebe. Die Klimaschutzentscheidung bringe unterschiedliche Wirkungen mit sich, die sich über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte erstreckten, wobei natürlich auch einige kurzfristige Nutzeffekte, z. B. Senkung von Luftverschmutzungen, auftreten könnten. Entsprechende gesetzliche Maßnahmen würden eine strikte Umsetzung verlangen. Die Anpassung der Adaption sei dagegen weniger dringlich. Sie habe einen geringeren zeitlichen Zusammenhang zwischen Vornahme und Ergebnis. Es gebe auch lokale Ergebnisse, und man könne sich weitgehend auf autonome Adaptionseffekte der betroffenen gesellschaftlichen Teilnehmer stützen. Die lokalen Klimaschutzmaßnahmen seien sehr unterschiedlich über die Welt verteilt. Klimaschutzmaßnahmen und politische Entscheidungen hingen hier stark von lokalen und nationalen Prioritäten und den jeweils vorgezogenen Ansätzen in Kombination mit der internationalen Aufgabe und Verantwortung in diesem Bereich ab.

Zum Schluss noch etwas über internationale Abkommen: Die Struktur und die Merkmale internationaler Abkommen zum Klimawandel würden sich nachhaltig auf die Effektivität sowie die Kosten und den Nutzen von Klimaschutzmaßnahmen auswirken. So würden beispielsweise die Kosten, die Nutzen und die Effektivität von Klimaschutzmaßnahmen im Rahmen einer internationalen Regelung wie z. B. dem Kyoto-Protokoll und anderer denkbarer künftiger Vereinbarungen von der Anzahl der Signatar-Staaten und den Minderungszielen bzw. den entsprechenden politischen Ver-

pflichtungen abhängen. Die Zahl der Unterzeichner-Staaten hinge natürlich auch sehr stark davon ab, wie gerecht die Minderungsziele aufgeteilt würden. Die Gerechtigkeit bei der Aufteilung der Emissionsziele und die Aufwendungen, die die einzelnen Staaten zu tragen hätten, hingen eng miteinander zusammen. In der Fachliteratur seien nun verschiedene Strategien aufgeführt, um im internationalen Maßstab den Verhandlungsprozess zu optimieren. Man könne beispielsweise den Anschluss an eine Staatengruppe, die sich ein bestimmtes Emissionsziel gestellt hat, attraktiv ausgestalten, indem man ganz einfach für größere Gerechtigkeit Sorge im Rahmen eines größeren Abkommens. Erreichen ließ sich das durch eine angemessene Aufspaltung der Ziele auf die einzelnen Staaten oder aber die Verknüpfung der Klimadiskussion mit anderen Fragen, z. B. mit finanziellen Transferleistungen für die betroffenen Staaten oder auch mit bestimmten Fragen des Technologietransfers. Die Verabschiedung internationaler Klimaschutzmaßnahmen könne sowohl das Gerechtigkeitsgefühl in den einzelnen Staaten als auch deren wirtschaftliche Effektivität, z. B. über ein Emissionszertifikatshandelssystem unter Einschluss der Entwicklungsländer bei dem ihre Grundemission als Basis diene, steigern.

Als letzter aus der Reihe der Sachverständigen spricht nun Herr **Priv.-Doz. Dr. Wahner** vom Forschungszentrum Jülich.

I.8 Statement Priv.-Doz. Dr. Andreas Wahner

Als Atmosphärenchemiker und die Natur beobachtender Experimentator werde Herr **PD Dr. Wahner** zu Aspekten des Klimawandels auf Grundlage veränderter Emissionen von Spurengasen in die Troposphäre Stellung nehmen. Die Fragen 1-8 stünden bei der Beantwortung im Vordergrund.

Aus der Sicht der Atmosphärenchemie spielten reaktive Spurengase und hier ganz speziell das Ozon in der Atmosphäre im Hinblick auf den Klimawandel eine ganz zentrale Rolle. Das Treibhausgas Ozon werde nicht direkt emittiert, aber es werde in der Atmosphäre gebildet. Troposphärisches Ozon macht heute etwa 30 % des Treibhauseffektes von CO₂ aus. Troposphärisches Ozon ist zudem insbesondere für

Pflanzen toxisch. Darüber hinaus wirke es bakteriozid. Man rechne heute, dass etwa 5-8 % der Ernteerträge in den USA aufgrund der Wirkung des Ozons verlorengehen; darüber hinaus reize es die Atemwege beim Menschen und bei den Tieren. Die Ozonkonzentration der Troposphäre ist nach 1945 bis heute um ca. einen Faktor 2 angestiegen. Diese Werte seien durch direkte Messungen ermittelt, ließen sich aber auch heute durch 3D-Modelle im Trend nachvollziehen. Wie komme es nun zur Ozonbildung in der Troposphäre? Anthropogene und biogene Prozesse emittieren Stickoxide, die wesentlichen Vorläufersubstanzen für die Bildung von Ozon, CO, Methan und weitere Kohlenwasserstoffe in die Atmosphäre. Durch die ultraviolette Strahlung der Sonne werde nun eine komplexe Chemie in Gang gesetzt, in deren Verlauf Spurengase, also auch die klimawirksamen Gase, wie z. B. Methan aber auch die Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe, aber auch deren Ersatzstoffe, die heutzutage vermehrt eingesetzt werden, abgebaut und aus der Atmosphäre entfernt würden. Dieser oxidative Abbau in der Troposphäre geschehe im wesentlichen durch eine einzige sehr reaktive Substanz, die in diesem Prozess auch gebildet werde, nämlich das sogenannte Hydroxyl-Radikal, d. h. das OH-Radikal. Dieses Hydroxyl-Radikal sei das "Waschmittel" der Atmosphäre. Seine Konzentration bestimme das Abbauverhalten und damit die Lebensdauer der meisten reaktiven Spurengase. Dieser Abbau von Spurengasen führe zwangsläufig zur Bildung von Ozon und weiterer Photooxidantien. Die genaue Bildung von Ozon sei ein komplexer Vorgang und hänge insbesondere von der Konzentration an Stickoxiden, von den Kohlenwasserstoffen, von der Sonneneinstrahlung und von weiteren Parametern ab. Die zukünftige Entwicklung der Ozonkonzentration in der Troposphäre, d. h. in den untersten 10 km der Atmosphäre, hänge in komplexer Weise von den Konzentrationsänderungen der Spurengase wie Stickoxide und Kohlenwasserstoffe ab. Dabei seien sowohl Stickoxide als auch CO um noch zwei Beispiele zu nennen, im wesentlichen der Verbrennung fossiler Energieträger geschuldet. Dazu wird eine Aufstellung gezeigt, die die aktuellen Stickoxid-Konzentrationen und ihre Quellen darstellt. Neben der Verbrennung fossiler Energieträger sei die Biomasseverbrennung und der Flugverkehr, obwohl es hierbei in andere Regionen, also sprich in höhere Schichten der Atmosphäre eingetragen werde, die Hauptemissionsquelle für Stickoxide. Beim Kohlenmonoxid, einer Substanz, die bei ihrem Abbau ebenfalls zu Ozonbildung beitrage, seien die Verbrennung fossiler Energieträger und die Biomasseverbrennung ebenfalls Haupt-

quellen für die Emission. Die Bildung von Ozon und die Konzentration von Stickoxiden in der Atmosphäre besäßen einen nichtlinearen Zusammenhang. Grob könne man drei Bereiche der Atmosphäre unterscheiden, den maritimen, den ländlichen und den städtischen Bereich. Der maritime Bereich weise nur geringe Stickoxidkonzentrationen auf. Was man zunächst festhalten könne, sei die enge Kopplung der Ozonproduktion an die OH-Radikal-Konzentration in der Atmosphäre. Es sei nun erkennbar, dass in ländlichen Bereichen die Ozonbildungsrate gegenüber den maritimen Bereichen ansteige. Komme man allerdings in städtische Regionen, dann treffe man dort noch höhere Stickoxidkonzentrationen in der Luft an. Die Ozonbildungsrate werde hier wieder kleiner. Analog verhalte sich natürlich die OH-Konzentration. Umgekehrt heiße dies aber auch, wenn die Emissionen von Stickoxiden in den Städten reduziert würden, dann sei dort eine höhere Ozonbildungsrate zu erwarten. Diese Zusammenhänge seien hier sehr einfach dargestellt, in Wirklichkeit seien sie noch sehr viel komplexer, wenn man noch die Kohlenwasserstoffkonzentration und die Konzentration anderer Verbindungen mit einbeziehe. Dieses Ergebnis verdeutliche nun folgendes: Es gebe zwei wesentliche Abhängigkeiten. Die Ozonproduktion sei regional sehr unterschiedlich. Bei zukünftigen höheren NO_x -Emissionen hänge die sich einstellende Ozonkonzentration davon ab, von welcher NO_x -Konzentration man ausgehe und ob noch eine zusätzliche Emission von Stickoxiden hinzukomme. Über diesen Mechanismus entscheide sich also, ob der Weg hin zu einer erhöhten Ozonbildung führe, oder ob es zu einer niedrigeren Ozonbildung komme. Der globale Mittelwert, obwohl - wie ja zu beobachten gewesen sei - die regionalen Schwankungen sehr groß sein könnten, liege zwischen 0,1 und 1 ppb. Die zentrale Frage sei nun, inwieweit der Verlauf der Ozonkonzentration für die Modellrechnungen bekannt sei. Der Verlauf der Kurve sei von der Kohlenwasserstoffkonzentration, von der CO-Konzentration, von der Sonnenstrahlung und von der Temperatur abhängig. So liege z. B. das Maximum der Ozonbildungsrate in der oberen Troposphäre um ca. einen Faktor 10 niedriger als in der Modellrechnung für bodennahe Luft. Diese Ergebnisse von Modellrechnungen, also diese Kurven, seien bisher nur unter sehr speziellen Bedingungen in einzelnen Feldexperimenten überprüft worden. So finde man in Bodennähe, in Reinluftgebieten eine Überschätzung der OH-Konzentration und somit natürlich auch der Ozonproduktionsrate von ca. 30 %. Die Unterschiede zwischen Modell und Experiment in anderen Regionen, beispielsweise in verschmutzten bo-

dennahen Luftschichten oder aber in der oberen Troposphäre, könnten größer sein. Dabei überschätzten die Modelle in bodennaher Luft bis zu einem Faktor 2. In der oberen Troposphäre gebe es Fälle, in denen das Modell bis zu einem Faktor 5 weniger vorhersage. Daraus seien die derzeitigen Unsicherheiten erkennbar. So unsicher, wie das an diesem einfachen Beispiel sei, pflanzten sich diese Unsicherheiten in jegliche weitere Modellrechnungen fort. Für die zukünftige Entwicklung der troposphärischen Ozonkonzentration und den daraus resultierenden Treibhauseffekt spielten jedoch noch weitere Spurengase eine Rolle: Man spreche hier von den sogenannten indirekten Effekten. So verstärke ein Anstieg von Kohlenmonoxid und Methan die Ozonproduktion. Daraus resultiere ein indirekter Treibhauseffekt dieser Spurengase durch die Photochemie - zusätzlich zu dem direkten Treibhauseffekt, den Methan ebenfalls aufweise. Zudem wirke eine Zunahme von Methan und CO₂ verändernd auf die OH-Konzentration. Vermindertes "Waschmittel" in der Atmosphäre bedeute aber auch einen verminderten photochemischen Abbau und damit wieder eine längere Lebensdauer z. B. von Methan oder anderen klimawirksamen Spurengasen. Die längere Lebensdauer führe dann wieder dazu, dass ein Emissionsanstieg zu einem überproportionalen Konzentrationsanstieg in der Atmosphäre führt. Neuere dreidimensionale Modellrechnungen zeigten auch einen Temperatureffekt in der Troposphäre. Eine Erhöhung der zukünftigen Temperatur in der Troposphäre habe auch einen höheren Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre zur Folge. Da der Wasserdampfgehalt aber auch ein direkter Vorläufer für die OH-Konzentration, d. h. also für die Konzentration des "Waschmittels" ist, kompensiere sich der Effekt wieder. Wenn wir gleichzeitig höhere Temperatur und damit einen höheren Wasserdampfgehalt hätten, dann hätten wir auch mehr OH-Radikale in der Atmosphäre und damit wieder einen schnelleren Abbau von Methan und anderen Spurengasen, gleichzeitig aber eine noch erhöhte Ozonproduktion, wenn die Stickoxide anstiegen. Aufgrund der Verteilung der Emissionsquellen und der zukünftigen Verteilung der Emissionsquellen und der Lebensdauer von Stickoxiden, die beispielsweise 2 Tage in der unteren Troposphäre und 21 Tage in der oberen Troposphäre betrage, werde die zusätzliche Ozonbildung verstärkt in der Nordhemisphäre auftreten. Das heiße, der Unterschied zwischen Reinfluft oder sauberer Luft auf der Südhemisphäre und stärker verschmutzter Luft auf der Nordhemisphäre werde in Zukunft sehr wahrscheinlich größer werden und speziell in den Regionen Europa, Nordamerika, wo die deutlich ver-

stärkten Emissionen auftreten, werde es zu höheren Ozonbelastungen kommen. Aber auch Regionen, denen man heute schon den höchsten Zuwachs prognostiziere, wie z. B. Südostasien, würden in Zukunft Probleme mit der Luftqualität, aber auch mit der Ozonkonzentration bekommen. Das heiße konkret für Europa: Überschreitung der Grenzwerte für die Ozonbelastungen und häufigeres und grorumigeres Auftreten von Ozongrenzbelastungen.

Der **Vorsitzende** dankt den Sachverständigen für ihre Statements und eröffnet die erste Fragerunde.

Erste Fragerunde

Als erster stellt Herr **Prof. Dr. Peter Hennicke** seine Fragen. Kosten und Nutzen von Entwicklungsansätzen hingen ja sehr stark davon ab, wie die Energieeffizienz pro Jahr gesteigert werden könne und welche Annahmen dazu getroffen würden. Daraus leite sich die erste Frage ab, die nach der persönlichen Meinung über die Steigerung der jährlichen Energieeffizienz fragt: Könne man Energieeffizienzsteigerungen auch durch politisch administrative Maßnahmen, wie dies ähnlich beispielsweise China in den letzten Jahren demonstriert habe, auf Dauer initiieren?

Die nächste Frage betreffe die No-Regret-Options. Die IPCC-Arbeitsgruppe 3 habe 30 % der Optionen als No-Regret-Options deklariert. Warum sei es dann bei den Modellbildnern, die Bottom-Up-Modelle betrieben, also von unten nach oben gehen, nicht so, dass sie ihre eigene Modellbildung mit der Top-Down-Methode von oben nach unten verglichen? Weshalb diskutierten diese beiden Gruppen von Modellbildnern nicht miteinander? Für Europa hätten wir ja beispielsweise eine Aussage, dass rund 50-60 % der Optionen als No-Regret-Options bezeichnet würden. Warum also sprächen die Vertreter der unterschiedlichen Denkweisen nicht miteinander?

Als Nächster stellt Herr **Prof. Dr. Alfred Voß** seine Fragen. Hinsichtlich des Wissens und einer möglichen Einflussnahme auf den erwarteten Klimawandel gebe es eine Fundamentalkritik, die sage, der behauptete Treibhauseffekt stehe im Widerspruch

zu den thermodynamischen Grundlagen und dabei insbesondere zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Die relevanten Phänomene in der Erdatmosphäre würden danach nicht durch den Strahlungsaustausch initiiert, sondern durch andere thermodynamische Prozesse. Die Absorptionseigenschaften des CO₂ würden überschätzt. Daher richte sich die erste Frage von Herrn **Prof. Dr. Alred Voß** an Herrn **Dr. Ulrich Cubasch** und Herrn **Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese**. Wie sei der heutige Stand der Erkenntnis zu dieser Fundamentalkritik und könne man ausschließen, dass diese Kritik keine wissenschaftliche Grundlage habe?

Die zweite Frage gehe ebenfalls an Herrn **Prof. Schönwiese** und frage nach der Zuverlässigkeit von Beobachtungswerten aus der Vergangenheit. Seien die Messungen, insbesondere die Temperaturmessungen in der Vergangenheit methodisch sauber gewesen und stimme es, dass neuere Satellitenmessungen gezeigt hätten, dass sich die mittlere Temperatur in der Erdatmosphäre in den letzten 20 Jahren nicht verändert habe? Sei Herr **PD Dr. Andreas Wahner** richtig verstanden worden, wenn sein Beitrag dahingehend interpretiert werde, dass das troposphärische Ozon etwa einen Treibhauseffekt habe, der 30 % des Treibhauseffektes des CO₂ ausmache? Das würde im Widerspruch zu den Strahlungsantriebsaussagen von Herrn **Prof. Schönwiese** stehen, denn dort sei die Wirkung des Ozons nicht berücksichtigt worden. Heiße dies nun, dass man gegebenenfalls den Strahlungsantrieb der anderen Treibhausgase zu hoch bewertet habe?

Die sich anschließenden Fragen von Abg. **Dr. Ralf Brauksiepe** (CDU/CSU) wenden sich an Herrn **Prof. Dr. Henry D. Jacoby** und Herrn **Prof. Dr. Gernot Klepper** und beziehen sich auf die Aussagekraft ökonomischer Modelle. Die Wirkung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts sei ja praktisch nicht prognostizierbar und ähnlich verhalte es sich mit den Forschungsergebnissen der Meteorologen. Ein Ökonom müsse diese Ergebnisse erst einmal als gegeben annehmen. Manche dieser Wirkungen ließen sich ja nun nicht einfach quantifizieren, sondern ihre Bewertung habe doch immer etwas mit Präferenzen zu tun. Da Präferenzen nun aber unterschiedlich seien, heiße es dann, dass bei einer Kosten-Nutzen-Analyse, dass hier im Hinblick auf Klimaschutzmaßnahmen praktisch keine Handlungsempfehlungen gegeben werden könnten? Auf der anderen Seite bleibe auch vor dem Hintergrund der Präferenzbildung die politische Verantwortung, politische Entscheidungen letztendlich selbst zu

treffen. Seien darüber hinaus Untersuchungen bekannt, nach denen Präferenzen unter dem Blickwinkel der Generationengerechtigkeit untersucht worden seien? Dahinter stehe doch die Frage, wie heute bestimmte Klimawirkungen vor dem Hintergrund kommender Generationen bewertet würden.

Als nächster Fragesteller erhält Abg. **Prof. Dr. Prof. Laufs** (CDU/CSU) das Wort. Die erste Frage gehe an Herrn **Prof. Schönwiese** und betreffe die Klimamodelle. Es tauche ja immer wieder der Vorbehalt auf, dass zentrale Aspekte und Mechanismen des sehr komplexen Klimageschehens nicht oder eben nicht ausreichend in den Klimamodellen berücksichtigt seien. Welche Einflussfaktoren seien daher als die relevantesten anzusehen und ließen sich daraus bestimmte Rückschlüsse auf die Aussagefähigkeit bestimmter Klimamodelle treffen? Gedacht sei dabei an solche Phänomene wie die Wolkenbildung, die Änderung der Albedo und auch die Wirkung bestimmter ozeanischer Komponenten.

Eine weitere Frage an Herrn **Prof. Dr. Ernst Augstein** betreffe die Vorsorgepolitik. Wie groß seien die Handlungszwänge zur Reduktion der klimarelevanten Emissionen für die Politik heute? Wie forciert müssten welche Mechanismen und Maßnahmen ergriffen werden und wieviel Zeit verbleibe hierzu?

Die sich anschließende Frage von **Prof. Dr. Jürgen Rochlitz** richtet sich an Herrn **Dr. Cubasch** und an Herrn **Prof. Schönwiese**. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen habe in seinem jüngsten Gutachten das Fehlen einer nationalen Klimaschutzstrategie beklagt. Daher die Frage, ob es weltweit Länder gebe, die eine konsequente Klimaschutzstrategie bereits verabschiedet hätten und erste deutliche Schritte auf diesem Weg gegangen seien? Sollte das nicht der Fall sein, wo lägen dann hierfür Hemmnisse? Sollte nicht notwendigerweise eine ganz intensive pädagogische und psychologische Beeinflussung der Bevölkerung durch Politik und Medien erfolgen, um die mit einem Klimawandel verbundenen Probleme zu verdeutlichen?

Eine zweite Frage gehe an Herrn **PD Dr. Andreas Wahner** und betreffe die Atmosphärenchemie. Wie hoch werde der positive Effekt der Rückwirkung des stratosphärischen Ozons eingeschätzt, dessen Abnahme ja zu konstatieren sei, verbunden auch mit einer deutlichen Abnahme der Temperatur in der Stratosphäre und einer

steigenden Temperatur in der Troposphäre? Wie hoch sei also dieser Effekt einzuschätzen?

Prof. Dr. Franz-Josef Wodopia richtet eine erste Frage an **Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese** und bezieht sich auf die Quellen des anthropogenen Treibhauseffektes. Welche Wirkungen könnten kritische Wissenschaftler gemeint haben, wenn sie vom Einfluss der Sonne auf unser Klimageschehen sprächen? Seien damit nicht eher indirekte Effekte, also z. B. Effekte auf das Magnetfeld der Erde, auf den Strahlungshaushalt oder Effekte auf die Mechanismen, die zur Wolkenbildung führen, gemeint? Die zweite Frage gehe an Herrn **Prof. Dr. Ferenc Toth** vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Welche Zusammenhänge gebe es in der Forschung zwischen der Würfelunterteilung der Atmosphäre in der Klimawissenschaft im engeren Sinne und der kleinräumigeren Betrachtung, der sich ja die Klimafolgenforschung zuwendet?

Abg. **Michaele Hustedt** (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN) schließt sich in der Reihe der Fragesteller an. Die erste Frage gehe an Herrn **Dr. Ulrich Cubasch**. Nach dessen Ausführungen sei mit einem Anstieg des Meeresspiegels im Bereich von 10-80 cm zu rechnen. Für einen Deichbau sei aber neben dem absoluten Anstieg der Meereshöhe auch die mögliche Höhe der Wellenbildung zu berücksichtigen. So rechne man bei einem Anstieg des Meeresspiegels von etwa 10 cm mit einer notwendigen Deichhöhe von mehr als 70 cm. Vor diesem Hintergrund sei von Interesse, welche Länder bei einem Anstieg des Meeresspiegels von 10 cm in welcher Art und Weise betroffen seien und welche Länder bei einem Anstieg des Meeresspiegels von 80 cm? Mit welchen volkswirtschaftlichen Kosten sei in diesen Fällen zu rechnen?

Die zweite Frage von Abg. **Michaele Hustedt** (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN) richtet sich an Herrn **Prof. Henry D. Jacoby**. Es sei ja sehr ausführlich der Zusammenhang zwischen Ozonentwicklung und Treibhauseffekt dargestellt worden. Auch sei dargestellt worden, dass wahrscheinlich durch den Treibhauseffekt auf der nördlichen Hemisphäre die Ozonproblematik verstärkt werde und umgekehrt. Gebe es diese gegenseitige Rückkopplung, wurde das richtig verstanden? Könnte dieser Zusammenhang, wenn er denn existiert, eine Chance dafür bedeuten, dass insbesondere in den

USA die Frage nach einer CO₂-Minderungs- bzw. Klimaschutzpolitik in Zukunft doch vielleicht eine größere Dynamik erfahren könnte, und zwar durch die damit zugleich aufgeworfenen gesundheitspolitischen Fragen, die dort in Politik und Öffentlichkeit einen größeren Stellenwert hätten? Könnte diese Problemverschränkung dazu führen, dass dem Klimaschutz in den USA in der nächsten Zeit eine größere Bedeutung beigemessen werde?

Auf Bitte des **Vorsitzenden** antwortet zunächst **Prof. Dr. Ernst Augstein** auf die an ihn gerichteten Fragen. Auf die Frage von Abg. **Prof. Dr. Paul Laufs** (CDU/CSU) nach den Handlungszwängen führt der Sachverständige aus, dass man hierauf nicht allein nur aus naturwissenschaftlicher Sicht antworten könne. Man müsse auch betrachten, welche Konsequenzen sich aus einer Klimaschutz- und CO₂-Reduktionspolitik in wirtschaftlicher Hinsicht und für das Zusammenleben der Menschen auf der Erde ganz allgemein ergäben. Rein naturwissenschaftlich gesehen dürfe man keine Sekunde mehr mit dem Beginn einer Politik zur Minderung der Kohlendioxidemissionen und zur Besserung des Klimaschutzes warten. Der Ausstoß klimarelevanter Treibhausgase müsse sofort sowohl wegen möglicher Klimaeinwirkungen als vor allem auch zur Schonung fossiler Ressourcen eingedämmt werden.

Als Nächster erhält Herr **Dr. Ulrich Cubasch** das Wort.

Hinsichtlich der Modellbildung führt der Sachverständige aus, dass dort natürlich alle physikalischen Eigenschaften, also auch Eigenschaften nach dem ersten und zweiten Hauptsatz der Thermodynamik in die Modellbetrachtung mit einbezogen worden seien. Die Absorptionseigenschaften der Spurengase würden ebenfalls in Modellen berücksichtigt, und ihre Wirkung werde natürlich auch in Laborversuchen überprüft. Hinsichtlich der Zuverlässigkeit von Daten aus der Vergangenheit ließen sich zwei Phasen der Messungen feststellen. Seit etwa 150 Jahren habe man wirklich Temperaturmessungen, die über See von der jeweiligen Kriegs-Marine gewonnen würden. Temperaturmessungen an Land wurden nur an vereinzelt wissenschaftlichen Einrichtungen durchgeführt, später dann natürlich aber auch von Wetterdiensten, die dies routinemäßig erledigt hätten. Natürlich habe es bei den Messungen in der Vergangenheit verschiedene Formen der Methodik und der verwendeten Hilfsmittel ge-

geben. Bei den Messungen an Land hätten wir das Problem der Vergleichbarkeit der Daten über einen längeren Zeitraum, denn der Messort, der früher noch weit vor der Stadt gelegen habe, befinde sich heute u. U. mitten in der Stadt und sei womöglich von Hochhäusern umgeben. Dies ergebe dann den sog. Heat-Island-Effekt, d. h. es würden höhere Temperaturen gemessen. Aber diese Effekte könne man alle aus heutiger Sicht zurückrechnen und damit die Messungen vergleichbar machen. Was man eindeutig nicht beheben könne, seien Lücken in den Beobachtungen: Wenn man mehr als 150 Jahre zurückgehe, dann finde man zum Teil große räumliche Lücken in den jeweiligen Aufzeichnungen. Diese Lücken versuche man heute durch Abschätzung oder durch Modellrechnung teilweise zu schließen oder man gehe zu vergleichenden Betrachtungen über in Form der Bewertung von Baumringen oder Korallenringen. Den vermeintlichen Diskrepanzen in der Temperaturmessung per Satellit und per Wetterballon werde in dem neuen IPCC-Bericht ein ganzer Abschnitt gewidmet. Man sei heute allgemein der Meinung, dass die verschiedenen Messungen recht gut übereinstimmten. Die Diskrepanzen bei der Satellitenmessung seien unter anderem auch dadurch zustande gekommen, dass man bestimmte Einflüsse auf die Satellitenmessung eben nicht ausreichend oder gar nicht berücksichtigt hätte. Das seien beispielsweise unterschiedliche Eichsysteme der Satelliten, deren Bahnveränderungen oder auch die nicht ausreichende Berücksichtigung der Staubemission durch Vulkanausbrüche auf die Messungen gewesen.

Bei den Strahlungsantrieben gehe man davon aus, dass die Wolken eine leicht positive Rückkopplung hätten. Der Einfluss der Wolkenbildung in allen Einzelheiten auf den Treibhauseffekt bringe derzeit tatsächlich die größte Unsicherheit mit sich. Wolkenbildung in Zusammenhang mit Aerosolen seien eine Quelle größerer Unsicherheit in den Betrachtungen. Es werde wahrscheinlich auch in Zukunft unmöglich sein, die Wolkenbildung im Labor nachzuvollziehen. Man könne dies rechnerisch versuchen. Der neue IPCC-Bericht weise auf diese Unsicherheiten bezüglich des Einflusses der Wolkenbildung hin.

Hinsichtlich der staatlichen Klimaschutzstrategien lägen dem **Sachverständigen** keine ausreichenden Informationen vor ob es bereits Länder gebe, die eine entsprechend ausgefeilte Klimapolitik betrieben. Es gebe allerdings Länder, die ähnlich wie

Deutschland unterschwellig Klimaschutzpolitik betrieben. Dazu gehöre beispielsweise China, das Maßnahmen zur Sofortreduzierung eingeleitet hätte, einmal aus gesundheitlichen Gründen für ihre eigene Bevölkerung, zum anderen, weil sich herausgestellt habe, dass anderenfalls die Monsunintensität im Jahre 2050 derartig nachlassen würde, dass der Nachbarstaat Indien darunter zu leiden hätte.

Man gehe im Augenblick in den wissenschaftlichen Diskussionen davon aus, dass das Magnetfeld der Erde kaum Einfluss auf Veränderungen unseres Klimas haben könne. Beim Einfluss der interstellaren Teilchen diskutiere man im Augenblick ihren Einfluss auf die Bildung von Wolken in der Erdatmosphäre. Der schon beschriebene Meeresspiegelanstieg von etwa 9-88 cm sei also ein Anstieg durch thermische Ausdehnung des Wassers infolge vermehrten Süßwassereintrags und Abschmelzen der Gletscher. Hinsichtlich der Auswirkung auf den Dammbau, der durch eine solche Meeresspiegelerhöhung induziert würde, sei zum einen die Wellenbildung zu berücksichtigen, zum anderen sei aber vor allem die Windgeschwindigkeit mit in Betracht zu ziehen. Im Augenblick gingen wir aber nicht davon aus, dass die Windgeschwindigkeiten deutlich größer würden. Bei einem Anstieg des Meeresspiegels ändere sich aber die Resonanzfrequenz des Meeresbeckens. Bei einem Zusammenreffen unglücklicher Umstände könne es dann natürlich auch sein, dass in bestimmten Meeresgebieten der Meeresspiegelanstieg größer sei als die schon besprochenen 88 cm. Das Problem sei eben, dass einige Atolle der Südsee sehr anfällig und sehr abhängig vom Anstieg der Meeresspiegelhöhe seien. Es könne also durchaus sein, dass bereits bei einem Anstieg des Meeresspiegels um 88 cm die Atolle verschwänden oder aber eben ihre Süßwasservorräte durch Salzwassereinträge unbrauchbar würden. Die Frage, welche wirtschaftlichen Auswirkungen mit einem Anstieg des Meeresspiegels verbunden seien, lasse sich nur länderspezifisch diskutieren. Länder wie Deutschland oder die Niederlande hätten damit wahrscheinlich weniger Probleme als z. B. ein Land wie Bangladesch. Es gebe natürlich auch das Konzept aus den USA, wonach - statistisch gesehen - eine Stadt wie Hamburg alle 30 Jahre neu aufgebaut werde. Dann könne man dies wohl auch per Dekret einige Kilometer landeinwärts machen und damit das Überflutungsproblem auf andere Art und Weise aus der Welt schaffen.

Herr **Prof. Henry D. Jacoby** möchte sich zunächst zu den Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz äußern. In der Branche sei das eine Top-Down- bzw. eine Bottom-Up-Diskussion. Top-Down deshalb, weil man damit anfangs, zunächst einmal die Märkte zu analysieren, ihre Preisgestaltung usw. Das machten in der Regel Ökonomen. Man unterstelle dabei, dass die Märkte recht gut funktionieren. Bottom-Up - die andere Methode - beginne mit einer technischen Kostenanalyse bei bestimmten Technologien, und die Ergebnisse würden dann im einzelnen aufaddiert. Solcherlei Betrachtungen machten Ökonomen bzw. noch häufiger Ingenieure, die mit den Grundtechnologien und den entsprechenden Daten begännen. Beides seien nun brauchbare Ansätze für diese Thematik, aber sie passten halt nicht zusammen. Die Aussagen deckten sich nicht. Das Massachusetts Institute of Technology (MIT) verfolge nur eine Top-Down-Analyse, d. h. es würden Wirtschaftssektoren abgebildet. Das sei durchaus ähnlich dem, was hier auch schon andere vorgestellt hätten. Es gehe um die Ermittlung der Veränderung der Energieeffizienz im Laufe der Zeit. Das ganze beruhe auf den Beobachtungen der letzten Jahre. Danach habe sich die Energieeffizienz in den meisten Ländern der Welt verbessert. Für die Betrachtung von Szenarien sei dies immer eine Quelle größerer Unsicherheit, denn prognostizieren ließe sich eine solche Entwicklung nur schwer. Bei der Modellierung gehe das MIT daher von einem mittleren Anstieg der Effizienz zwischen 0,75 und 1 % pro Jahr aus. Der Bezug zur Bottom-Up-Analyse stelle sich nun folgendermaßen dar: Die Bottom-Up-Analyse sei eine sogenannte No-Regret-Analyse. Dies bedeute, es handle sich um Verbesserungen, die man quasi kostenlos bekomme, weil sie positive Wirkungen auf die Gesellschaft haben. Man erhalte sie, indem man die Technikkosten addiere, z. B. beim Austausch veralteter Beleuchtungstechnik gegen moderne Beleuchtungstechnologien. Das Problem bei dieser Analyse sei, dass die Technikkosten ja nicht das einzige seien, was eine Rolle spiele. Es gebe da noch Fragen der Verwaltungstechnik, aber auch Fragen der Entwicklung der Märkte mit den entsprechenden Kosten, die Kosten verschiedener Risiken und dergleichen. Hinzu träte das Phänomen, dass verschiedene Technologien, die Nutzen zu bringen schienen, von den Verbrauchern nicht akzeptiert bzw. übernommen würden. Die Schätzungen des MIT gingen davon aus, dass man eventuell 60 % der möglichen Maßnahmen mit "No-Regrets" erreichen könne, ohne dass die Regierung eingreifen müsse oder der Staat Vorschriften erlasse. Die Frage, die ja an dieser Stelle oftmals gestellt werde, sei,

wenn man entsprechende Maßnahmen nicht bedauere, warum würden sie nicht jetzt schon von selbst ergriffen? Die standardmäßige Antwort, die dann meist zu geben sei, laute, es gebe dort Schranken und Grenzen, die zum jeweiligen Zeitpunkt noch existierten. In der gesamten Volkswirtschaft nun wiederum stellten sich die Dinge anders dar. Auf die gesamte Volkswirtschaft bezogen wären es aller Voraussicht nach keine 60 % sein. So etwas ginge nur in einer zentralen Verwaltungswirtschaft. In einer Marktwirtschaft hingegen entschieden die Verbraucher, was sie haben wollten. Technisch sei natürlich alles möglich, aber eben ökonomisch nicht immer vernünftig und das müsse auch die Position des Ökonomen in solchen Diskussionen sein. In der Annahme des MIT über die jährliche Energieeffizienzsteigerung von 0,75 – 1 % pro Jahr ist sehr viel von "No-Regrets" enthalten. Der Anteil dürfte etwa 15-20 % betragen.

Prof. Dr. Gernot Klepper möchte zunächst auf die Frage von Abg. **Dr. Ralf Brauk-siepe** (CDU/CSU) bezüglich der Bedeutung von Präferenzen und die Rolle von Wirtschaftsmodellen eingehen. Solange man sich die Frage nach den Kosten und dem Nutzen von Maßnahmen unter rein marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten ansehe, stelle sich die Frage von Präferenzen nicht, denn in der Marktwirtschaft entschieden die Konsumenten, die Investoren und die Produzenten über das, was sie am meisten präferierten. Wollte man natürlich externe Effekte berücksichtigen, dann müssten bestimmte Annahmen getroffen werden. Da gebe es z. B. Methoden, mit denen man Präferenzen über die Auswirkungen von Konsumenten ableiten und auf deren Grundlage man dann auch Bewertungen vornehmen könne. Problematisch werde es erst, wenn man in die gesamtwirtschaftlichen Modelle gehe. Hier gebe es zwei Typen von Modellen, die normativen und die positiven Modelle. Die normativen Modelle wiederum seien Optimierungsmodelle. Sie setzten bestimmte Präferenzen voraus, d. h. eine bestimmte Zielfunktion, berechneten daraufhin, was denn am besten für die Wirtschaft in Deutschland oder für die Wirtschaft in der Welt wäre und machten bestimmte Aussagen, was an politischen oder wirtschaftspolitischen Maßnahmen sein sollte. Der andere Typ von Modellen analysiere ausschließlich, was passiere, wenn die Politik mit einer bestimmten Maßnahme in die Wirtschaft eingreife. Sie machten keine normativen Aussagen bezüglich einer Wertung, ob es sich um einen guten oder schlechten Eingriff handelt, sie sagten nur vorher, welche Konsequenzen dieser

Eingriff hätte. Man könne also festhalten, dass es bei den normativen Optimierungsmodellen wichtig sei herauszuarbeiten, unter welchen Voraussetzungen die Zielfunktion jeweils bestimmt wurde. Bei den positiven Modellen, bei den reinen Wirkungsfolgeanalysemodellen gebe es die Frage nicht. Der **Sachverständige** merke noch an, dass in den üblichen ökonomischen Modellen eine Verhaltensänderung zwischen den Generationen nicht statfinde. Die nachfolgende Generation verhalte sich also so, wie es die Eltern bereits getan haben. Diese Thematik werde bisher mehr im philosophischen Bereich diskutiert denn im ökonomischen oder naturwissenschaftlichen. Zur Zeit würden in den Modellbetrachtungen noch recht „grausame“ Annahmen über den technologischen Fortschritt gemacht, weil es sich einfach zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht besser darstellen ließe. Eine zentrale Frage sei natürlich dabei die Frage der Energietechnologien wie sie von **Prof. Dr. Peter Hennicke** angesprochen worden sei. Bei den Energietechnologien hätten wir einerseits bestimmte Techniken, die wir für die nächsten 10, 20, 30 Jahre kennen. Und wir könnten uns auch vorstellen, wie sie sich entwickeln könnten. Wir hätten aber auf der anderen Seite von der Volkswirtschaftslehre her Vorstellungen, wie wichtig Preise für das Initiieren von Entwicklungen über Angebot und Nachfrage seien, und nun müsse dies zusammengebracht werden - auf der einen Seite die technologische Entwicklung und auf der anderen Seite die Preisreaktion. Zur Zeit gebe es erste Ansätze, solche Betrachtungen miteinander zu koppeln. In ein paar Jahren werde es auf diesem Gebiet sicherlich einen besseren Wissensstand geben. Im Augenblick hülfen wir uns bei unseren Modellbetrachtungen damit, dass wir die historischen Trends weiterschrieben und so eben zu diesen bereits angesprochenen 0,75-1 % Steigerung der Energieeffizienz pro Jahr gelangten, die in diesen Modellen üblicherweise angesetzt würden.

Prof. Henry D. Jacoby ergreift noch einmal das Wort und spricht zur Problematik des Ozons im Zusammenhang mit der Luftverunreinigung und den aktuellen politischen Folgen von Gesundheitsaspekten. Zu dieser Problematik habe sich unlängst auch der Direktor des NASA Space-Institutes, Herr James Henson, geäußert. Nach der Meinung von Herrn Henson sollte bei der Betrachtung von Klimagasen eine Akzentverschiebung hin zu Methan und zum schwarzen Kohlenstoff hin erfolgen. Denn schwarzer Kohlenstoff ist neben seiner Treibhauswirksamkeit auch ein Gesundheitsrisiko. Mit dieser Akzentuierung könnte die Klimadiskussion sehr viel gewinnen, denn

es würde eine win-win-Situation entstehen. Alle Seiten würden davon profitieren, also auch das Gesundheitswesen. Diese Meinung von Henson habe in den USA einen breiten Anklang gefunden.

Als nächster Sachverständiger antwortet Herr **Prof. Dr. Christian- D. Schönwiese** auf die Fragen der ersten Fragerunde. Er wolle die Aussagen von **Dr. Ulrich Cubasch** vertiefen. Zunächst sei etwas zu den Klimaskeptikern zu sagen: Natürlich beinhalte die Modellbildung auch die Grundgesetze der Thermodynamik. Natürlich gebe es einen Wärmefluss aus dem Bereich mit einer positiven Strahlungsbilanz (Erdoberfläche) hin zur Atmosphäre, wo wir eine negative Strahlungsbilanz vorfinden - dies entspreche natürlich auch dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Realisiert werde dies über die fühlbare Wärme und die latente Wärme, also Verdunstung, Kondensation, Gefrieren in der Atmosphäre usw. Bei den Absorptionsspektren der klimarelevanten Gase müsse man natürlich alle aktiven Bereiche berücksichtigen und nicht nur im Zentrum messen. Und man dürfe auch nicht vergessen, dass wir hier über das Anstoßen von Vorgängen sprächen, hingegen fänden die eigentlichen Prozesse dann erst in einer Rückkopplung statt. Der **Sachverständige** weist darauf hin, dass hinsichtlich der Temperaturaufzeichnungen ausgesprochen gutes Datenmaterial über die Jahrhunderte vorliege. Etwas anders sei es bei den Aufzeichnungen über den Niederschlag. Seit 1659 hätten wir kontinuierliche Messungen der Temperatur in bodennahen Luftschichten. 1781 sei bereits das erste internationale Messnetz eingerichtet worden. Das Prinzip habe sich seit damals nicht verändert. Darüber hinaus habe die Temperatur recht gute Repräsentanzeigenschaften, man brauche also nicht so sehr viel unterschiedliche Messstellen, um auf die Weltmitteltemperatur zu schließen. Natürlich sei es richtig, dass Messungen über den großen Wassermassen schwierig zu handhaben seien. Hier helfe uns aber wiederum die Tatsache, dass die Repräsentanz der Meeresoberflächentemperatur noch sehr viel günstiger sei als die der bodennahen Schichten über Land. Für die Bewertung der Klimarelevanz einer Substanz sei nicht nur das sogenannte Treibhauspotenzial von Bedeutung, denn diese gelten ja nur pro Molekül, es seien auch die Konzentrationen zu berücksichtigen und die Verweilzeiten der Substanzen in der Atmosphäre. Dies wird anhand einer Aufstellung der direkten Strahlungsantriebe verdeutlicht (Folie siehe Anhang). Diese Aufstellung stamme aus dem letzten IPCC-Bericht.

Es sei deutlich erkennbar, dass Vulkanismus-Effekte in einzelnen Jahren den Antrieb der Treibhausgase erheblich übersteigen könnten. Meist werde das aber in vielen Darstellungen vergessen. Bei den Klimamodellierungen gehörten die Modellierung des Einflusses der Wolkenbildung und die Auswirkungen aus indirekten Aerosoleffekten zu den Hauptschwächen der Klimamodellierung. Natürlich repräsentierten diese Effekte auch den Unsicherheitsbereich der Modelle.

Hinsichtlich der nationalen Klimaschutzpolitik macht der **Sachverständige** eine gewisse Vorreiterrolle Deutschlands aus. Eine nationale Klimaschutzpolitik sei aus anderen Staaten nicht bekannt.

Die Ausstrahlungsänderungen auf der Sonne machten sich auf der Erde nur im Promille-Bereich der mittleren Sonneneinstrahlung bemerkbar. Von daher seien die veröffentlichten wolkenphysikalischen Effekte eher im spekulativen Bereich anzusiedeln. Es beruhe auf keinen Fall auf Modellrechnungen. Für die Frage Medien und Wissenschaft gebe es sehr positive aber auch sehr negative Beispiele. Beunruhigend seien allerdings die häufig vorherrschenden Extrempositionen in Veröffentlichungen. Da sei lange Zeit von der Klimakatastrophe geredet worden, ein völlig unwissenschaftlicher Begriff, denn es handele sich dabei um eine rein subjektive Wertung. Aufgrund der wissenschaftlichen Tatsachen sei eine möglichst ausgewogene Diskussion und auch ein ausgewogenes Agieren angezeigt, weil man immer wieder betonen müsse, dass wir keinesfalls alles sicher wüssten. Aber wir müssten uns daran gewöhnen, aufgrund von Wahrscheinlichkeiten zu handeln, denn wenn ein gewisses Risiko bestehe, dann dürfe man dieses Risiko nicht negieren, nur weil man die Effekte nicht hundertprozentig quantifizieren könne. Ein Risiko entsprechenden Ausmaßes reiche, um hier zu handeln.

Als nächsten bittet der Vorsitzende **PD Dr. Andreas Wahner** um seine Antworten.

Der **Sachverständige** erläutert anhand einer Darstellung, dass die Abnahme des stratosphärischen Ozons durch die FCKW zu einem negativen Temperaturantrieb führe, der etwa die Hälfte des Wertes betrage, die das troposphärische Ozon an Erwärmung mit sich bringe. Nach Ergreifung der Maßnahmen zur Reduzierung von

FCKW könne davon ausgegangen werden, dass in 50 Jahren, also etwa gegen 2040, wieder das Niveau im stratosphärischen Ozon erreicht sein werde, das vor der Einführung der FCKW vorhanden gewesen sei, wenn sich sonst nichts ändere. Die größte Unsicherheit komme hierbei durch das Methan und das N₂O. Zur Zeit sei deren Rückgang in der Stratosphäre und damit der negative Einfluss auf das Ozonniveau eben nicht genau beschreibbar.

Der **Vorsitzende** begrüßt den soeben eingetroffenen Sachverständigen **Prof. Dr. Richard S. J. Tol**. Dann erteilt er noch einmal Herrn **Prof. Dr. Ernst Augstein** das Wort.

Prof. Dr. Ernst Augstein weist darauf hin, dass bei Modellbetrachtungen, die in einen Zeitraum von 1.000-2.000 Jahren münden, insbesondere die Repräsentation des Ozeans und der Biosphäre große Unsicherheiten mit sich brächten.

Der **Vorsitzende** unterbricht gegen 13.10 die Sitzung für die Mittagspause.

Wiederbeginn der Sitzung: 14.40 Uhr

Der **Vorsitzende** eröffnet die Sitzung nach der Mittagspause und bittet nunmehr den kurz zuvor eingetroffenen Sachverständigen **Prof. Dr. Richard S. J. Tol** um seine Stellungnahme.

Statement Prof. Dr. Richard S. J. Tol

Der Sachverständige **Prof. Tol** führt aus, dass es viele Gründe gebe, saubere Technologien für den Energie- und Verkehrsbereich zu entwickeln. Hierzu gehörten die

Umweltbelastungen sowie die Chance für Entwicklungsländer, sich ebenfalls zu entwickeln. Schließlich auch der Umstand, dass konventionelle Energieträger wie Öl und Gas nur noch begrenzt zur Verfügung stünden. Hierfür seien Alternativen langfristig erforderlich. Demgegenüber sei der Klimawandel kein entscheidender Grund für die Notwendigkeit zur Entwicklung sauberer effizienter Technologien im Energie- und Verkehrsbereich. Dies habe folgende Gründe: Es könnte unter Umständen sein, dass der entwickelte Teil der Welt tatsächlich von einem Klimawandel profitieren würde - zum Beispiel infolge geringeren Aufwands für die Heizung im Winter oder aufgrund positiver Auswirkungen auf die Landwirtschaft. Nahezu alle Klimamodelle gingen davon aus, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf diesen Teil der Welt eher gering ausfielen. Im Ergebnis laufe es wohl bei einer moderaten Temperaturerhöhung auf leicht positive Effekte hinaus, bei stärkerer Erwärmung hingegen bestehe größere Unsicherheit, wie die Auswirkungen des Klimawandels beschaffen sein würden. Dies alles sei wohl letztlich noch kein Grund, auf dem Energiesektor bald einschneidend zu handeln. Ein anderer Grund für Besorgnisse mit Blick auf den Klimawandel seien hingegen die Auswirkungen auf die weniger entwickelten Staaten, die bereits jetzt unter Klimaproblemen zu leiden hätten. Die größten negativen Auswirkungen des Klimawandels dürften in diesem Teil der Welt jedoch gerade damit zusammenhängen, dass diese Staaten unterentwickelt seien. Wenn man diese Schlussfolgerung so akzeptiere, gebe es allerdings bessere Möglichkeiten, die Auswirkungen des Klimawandels in Entwicklungsländern zu bekämpfen. Man würde diesen Ländern größeren Nutzen bringen, wenn man ihnen helfen würde, sich etwas schneller zu entwickeln, als es sonst der Fall sein könnte.

Wenn ein Land beschließen sollte, deutliche Emissionsreduktionen vornehmen zu wollen, dann sollte dieses Land daran denken, dass der Klimawandel ein langfristiges Phänomen darstelle und dass Lösungen, die im Wesentlichen darin bestehen, alternative Energieträger zu entwickeln, vom Markt auch angenommen werden müssten. Wenn man eine solche beschleunigte F+E-Strategie für den Energie- und Verkehrsbereich betreiben würde, so hätte dies noch weitere positive Auswirkungen. Am wichtigsten wäre wohl der Umstand, dass eine solche Strategie von einem Land, das nicht zu klein sei, im Alleingang betrieben werden könne. Deutschland habe sicherlich jedenfalls die Größe, eine eigenständige F+E-Strategie aufzulegen. In die-

sem Zusammenhang spiele es kaum eine Rolle, was etwa die USA in dieser Hinsicht unternehme, Deutschland brauche die USA hierfür nicht, um eine eigenständige F+E-Politik durchzuführen. Wenn etwa hierzulande neue und saubere Technologien entwickelt werden könnten, von denen heute bereits die Rede ist, so werde sich zeigen, ob sie sich am Markt durchsetzen könnten. In diesem Fall würden die Technologien auch in den USA eingesetzt werden können und auch dort zu Emissionsminderungen beitragen. Der dritte Vorteil von Forschung und Entwicklung im Energiesektor bestehe darin, dass eine solche Strategie weit weniger kontrovers sein dürfte als etwa eine Anhebung der Energiepreise. Zwar würden auch im Rahmen einer solchen F+E-Strategie die Energiepreise langfristig anziehen, dies könnte dann aber als positive Begleiterscheinung für technischen Fortschritt dargestellt werden und nicht mehr als negative Begleiterscheinung von Emissionsreduktionsmaßnahmen. Dies dürfte auch die politische Akzeptanz deutlich verbessern.

Der **Vorsitzende** bedankt sich beim Sachverständigen **Prof. Dr. Richard S. J. Tol** und eröffnet eine neue Fragerunde. Der **Vorsitzende** bittet darum, dass in dieser Fragerunde nur Fragen an Herrn **Prof. Tol** und an Herrn **Loster** gestellt werden, die die Veranstaltung gegen 15.00 Uhr verlassen müssten.

Zweite Fragerunde

Prof. Dr. Eberhard Jochem nimmt Bezug auf die Ausführungen von Herrn **Loster**, demzufolge bei Eintritt eines ungünstigen Schadensverlaufes bestimmte Risiken insgesamt nicht mehr versichert würden. Er richtet an Herrn **Loster** die Frage, bei welchen Risiken als nächstes von einem Rückzug der Versicherungswirtschaft auszugehen sei. Ferner bittet er Herrn **Loster** um nähere Erläuterungen der Problematik von Selbsthalten zur optimalen Risikovorsorge der Betroffenen. An Herrn **Prof. Tol** richtet er die Rückfrage, ob die von ihm geäußerte Einschätzung nur leicht negativer oder insgesamt neutraler Auswirkungen des Klimawandels auf die Industriestaaten möglicherweise auf ökonomische Bewertungsprobleme zurückzuführen sei, etwa durch die besondere Langfristigkeit der Bewertungsaussagen. Auch sei fraglich, ob

nicht zusätzliche Kosten durch indirekte Effekte zu beachten seien, etwa durch Umweltflüchtlinge oder auch stark zunehmenden politischen Druck.

Abg. **Prof. Dr. Paul Laufs** (CDU/CSU) erkundigt sich bei Herrn **Prof. Tol** nach der Stärke des Handlungsdrucks zur globalen Reduktion der Treibhausgasemission. Insbesondere sei fraglich, wieviel Zeit noch verbleibe, um die nötigen Anpassungsschritte einzuleiten.

Prof. Dr. Dieter Schmitt fragt Herrn **Prof. Tol**, welche Diskontrate er der Kommission vorschlagen würde für die Bewertung von Zukunftseffekten.

Dr. Hans Jörg Henne erkundigt sich bei Herrn **Loster** nach Untersuchungen zur historischen Zyklonhäufigkeit. An Herrn **Prof. Tol** richtet er die Frage, wie dieser sich Eingriffe zur Herstellung einer nachhaltigen Entwicklung vorstelle, ohne dabei wirtschaftliche Verwerfungen hervorzurufen.

Prof. Hennicke greift das Argument von Herrn **Prof. Tol** auf, demzufolge Klimaschutz für die entwickelte Welt nicht nur Kosten, sondern auch erheblichen Nutzen darstelle, insbesondere in der Technologiepolitik. Er weise allerdings darauf hin, dass angesichts der hohen Schäden durch Treibhausgasemissionen auch eine ökonomische Notwendigkeit zur Schadensverhütung in der entwickelten Welt bestehe. Beide Argumentationsstränge gehörten insofern zusammen.

Der **Vorsitzende** erteilt zunächst Herrn **Loster** das Wort zur Beantwortung der ersten Fragerunde.

Dipl.-Geograph **Thomas Loster** nimmt Stellung zur Frage der Sturmhäufigkeit und zur Klimageschichte. Hinsichtlich der Sturmhäufigkeit sei nach wie vor höchst umstritten, ob diese im Rahmen eines wärmeren Klimas zunähmen. Hurrikane und tropische Wirbelstürme träten oft zyklisch auf, d. h. es könnten 30 und 40 Jahre mit hoher Sturm-Häufigkeit beobachtet werden und anschließend über einen längeren Zeitraum eine nur geringe Intensität. Es könne daher noch nicht mit letzter Sicherheit ausgesagt werden, ob insbesondere tropische Wirbelstürme, die sehr schadens-

trächtig seien, derzeit längerfristig zunehmen. Darüber hinaus gebe es einige Messungen über Orkantiefs in der Nordsee, die nach Analyse der letzten 40 Jahre insgesamt etwas zugenommen hätten. Insgesamt vertritt der Sachverständige die Auffassung, dass gewisse Indizien für eine Zunahme der Sturmintensität sprächen; auch theoretische Argumente, die bereits von Herrn **Prof. Schönwiese** vorgetragen worden seien, sprächen dafür. Hier sei insbesondere der zunehmende Gradient zwischen den polaren und tropischen Regionen zu nennen. Als Folge dieser Zunahme der Luftdruckdifferenz sei theoretisch eine Erhöhung der Sturmaktivität zu erwarten. Der **Sachverständige** verweist im übrigen auf Beispiele und Forschungen zur Parallelität von Klimageschichte und Menschheitsgeschichte.

Zum Problem der Versicherbarkeit von Risiken und des möglichen Rückzugs der Versicherungswirtschaft aus Klimarisiken erklärt **Herr Loster**, dass die Versicherungswirtschaft einen zunehmenden Anpassungsdruck zunächst in der Weise begegne, dass sie „Stellschrauben“ verändere. Der **Sachverständige** verweist als Beispiel auf die Ballung von Wirbelstürmen ab 1989 in karibischen Raum. Hier haben einige Rückversicherer die Deckung teilweise so modifiziert, dass zunächst mehr, bzw. höhere Schäden von den Erstversicherern zu tragen waren (entspricht einer Erhöhung der Selbstbehalte). Durch entsprechende Maßnahmen der Versicherungstechnik könnten auch zunehmende Risiken über die mittlere Frist abgefangen werden. Zu den Selbsthalten hierzulande erklärt der **Sachverständige** folgendes: Bei der Analyse großer Schadenereignisse falle auf, dass ein großer Prozentsatz der gemeldeten Schadensfälle im Bagatellbereich läge. Als Beispiel führt **Herr Loster** die Wintersturmserie von 1990 mit acht verwüstenden Stürmen in Folge an, die 15 Milliarden US-Dollar zu Werten von damals an volkswirtschaftlichen Schäden und 10 Milliarden US-Dollar versicherte Schäden erbracht hätten. Eine nähere Analyse des Schadensprofils habe ergeben, dass 88 % aller gemeldeten Schäden unter 2.000 DM gelegen hätten. 66 % aller Schadensmeldungen hätten sogar unter 1.000 DM gelegen. Durch Stellung eines entsprechenden Selbstbehaltes von z. B. 1.000 DM könne daher ein großer Teil der Schadenssumme privatisiert werden. Dies bedeute für die Versicherungswirtschaft eine Entlastung von 50 % der Schadenssumme, aber auch von 66 % der Bearbeitungs-Fälle, was eine erhebliche administrative Entlastung mit sich bringe. Zur Frage der Zumutbarkeit von Selbsthalten erläutert der

Sachverständige anhand von Beispielen, was ein Selbstbehalt von etwa 1.000 DM für die Praxis der Versicherungswirtschaft bedeute: Das individuelle Risiko, Schäden bis zu 1.000 DM selbst zu tragen, führe zu Vorsorgemaßnahmen wie rechtzeitiges Schließen der Fenster, Einholen der Markisen und Parken von Fahrzeugen in Garagen. Dies alles sei sicherlich zumutbar. Ein solches volkswirtschaftlich wünschbares Ergebnis werde allerdings konkret im Wettbewerb der Versicherer dadurch behindert, dass Wettbewerber immer wieder Tarife ohne Selbstbehalt anzubieten versuchten. Der **Sachverständige** fasst seine Ausführungen dahingehend zusammen, dass bei Einsparung von 88 % der Versicherungsfälle, was etwa 2/3 der Schadenssumme entspreche, ganz offensichtlich die Versicherungswirtschaft noch auf Jahre hinaus auch mit unwirklicheren Klimabedingungen recht gut zurechtkommen könne. Von einem baldigen Rückzug der Versicherungswirtschaft aus Gründen verschärfter Klimarisiken könne daher ohne Weiteres nicht ausgegangen werden.

Als nächstes bittet der **Vorsitzende** Herrn **Prof. Dr. Richard S. J. Tol** um seine Stellungnahme.

Der **Sachverständige** geht zunächst auf das Problem der Diskontierung ein. **Prof. Dr. Richard S. J. Tol** geht davon aus, dass leicht positive Auswirkungen des Klimawandels in näherer Zukunft zu erwarten seien, wohingegen die größeren Schäden sich erst in der ferneren Zukunft bemerkbar machen dürften. Hier stelle sich in der Tat die Frage, wie Nutzen und Kosten, die erst in späteren Perioden auftreten, angemessen verglichen werden könnten. Er komme auf diese Frage noch einmal zurück.

Zur Problematik der Umweltflüchtlinge verweist **Prof. Tol** auf das Beispiel Bangladesh, wenn dort etwa infolge des Anstieges des Meeresspiegels 10-20 % des Landes überflutet würden. Die Folge wäre sicherlich ein massiver Flüchtlingsstrom. Die historischen Muster von Flüchtlingsströmen sprächen für die Annahme, dass die meisten der Flüchtlinge in ihrem Land oder in der Region blieben, die übrigen würden vermutlich nach Indien oder nach Pakistan auswandern. Dort wiederum dürfte der Flüchtlingsdruck zu entsprechenden Problemen führen. Ein kleinerer Prozentsatz der Bevölkerung, aus unserer Sicht wären dies bereits sehr viele, würde vielleicht versu-

chen, nach Europa zu kommen. Um aus unserer Sicht auf dieses Szenario zu reagieren, gäbe es insgesamt vier Möglichkeiten: Erstens könnten wir die Zuwanderungskriterien verschärfen und gegen illegale Einwanderung vorgehen. Zweitens könnten wir versuchen, den Klimawandel zu beeinflussen, damit ein solches Flüchtlingsszenario erst gar nicht Realität wird. Drittens könnten wir in Bangladesh Deiche bauen. Und viertens schließlich könnten wir Bangladesch dabei helfen, sich so weit zu entwickeln, dass sie eigene Schutzmaßnahmen gegen die Erhöhung des Meeresspiegels vornehmen könnten, d. h. etwa ihre eigenen Deiche bauen. Welche dieser vier Optionen jeweils die sozial-, wirtschaftlich und ökologisch richtige Antwort auf das Problem darstelle, hänge natürlich von Fall zu Fall von den Bedingungen ab. Eine Antwort jedenfalls, die zur Lösung der Problematik sogleich auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen verweise, scheine nach Auffassung des **Sachverständigen** nicht ohne weiteres richtig. Jedenfalls gebe es grundsätzlich mehrere Optionen, die jeweils zu prüfen seien.

Anschließend geht Herr **Prof. Tol** auf die Frage ein, wieviel Zeit insgesamt noch verbleibe, um mit Treibhausgasemissionsreduktionen zu beginnen. Der **Sachverständige** legt dar, dass in dieser Frage einige Missverständnisse zu beklagen seien. Mit Blick auf den Kohlenstoffzyklus mache es keinen großen Unterschied, ob man die Emissionen bereits jetzt oder aber erst in 10 oder 20 Jahren reduziere. Der Einfluss auf das Klima dürfte in jedem Falle eher gering ausfallen. Dies bedeute jedoch keinesfalls, dass wir bis zu diesem Zeitpunkt die Möglichkeit hätten zuzuwarten. Denn in jedem Falle werde ein politisches Regime benötigt, das die Bereitschaft zur Umstrukturierung schaffe. Ein solches auch international abgesichertes Regime sei derzeit aber noch nicht in Sicht. Das Beispiel der Welthandelsorganisation habe gezeigt, dass es Jahrzehnte brauche, um sich hier auf internationale Regeln zu verständigen. Es werde wohl 10 oder 20 Jahre dauern, bis der Kyoto-Prozess so weit gereift sei, dass er für den Klimaschutz auch effektiv werde. Außerdem müssten zunächst noch die Technologien entwickelt werden, die uns vor der derzeitigen Abhängigkeit von fossilen Energieträgern lösen. Auch dies brauche Zeit. Klimapolitik sei daher zusammenfassend als "Portfoliopolitik" zu betrachten, die über zahlreiche Optionen verfüge. Emissionsbegrenzungsmaßnahmen stellten in diesem Zusammenhang nur eine Option dar. Nach Auffassung des **Sachverständigen** haben Emissi-

onsreduktionsmaßnahmen im Fächer klimapolitischer Optionen keine Priorität gegenüber Technikstimulierung Politikregimebildung und vielleicht Anpassungsleistungen.

Zum Problem der Diskontrate bietet der **Sachverständige** abschließend drei mögliche Lösungen an. Die erste Lösung bestehe darin, dass zu fordern wäre, dass die im Rahmen von Klimamodellen zu verwendende Diskontrate derjenigen Rate entspreche, die auch ansonsten zur Beurteilung öffentlicher Investitionen herangezogen werde. Ansonsten drohten Unstimmigkeiten im Rahmen der öffentlichen Politik. Von der moralisch-ethischen Seite her sei es jedoch nicht richtig, zukünftige Größen abzuwerten, nur weil sie in der Zukunft lägen. Man würde daher für Deutschland wohl so diskontieren müssen, dass man etwa die wirtschaftliche Wachstumsrate ansetzte.

Zu den übrigen Gründen, die für eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen sprechen könnten, erläutert **Prof. Tol**, dass hierzu insbesondere die allgemeinen Umweltprobleme zählten, aber auch die Chance für unterentwickelte Staaten, eine geregelte Energieversorgung aufzubauen, d. h. dort müssten Alternativenenergien bereitgestellt werden können. Da dort noch keine technologischen Grundentscheidungen gefallen seien, biete sich hier die Gelegenheit, saubere und effiziente Technologien einzuführen. Ein weiterer wichtiger Grund für das Nachdenken über eine neue Energiestruktur stelle selbstverständlich die Begrenzung der fossilen Energieträger dar. In 60 Jahren werde der gesamte Energiesektor grundsätzlich anders aussehen müssen als dies heute der Fall sei. In der Konsequenz würden sich auch die politischen und wirtschaftlichen Strukturen und auch die Geopolitik der Energiewirtschaft grundlegend wandeln. Gleichzeitig würden beträchtliche Investitionen in neue Energieträger geleistet werden müssen. Die Welt stehe hier an einer technologischen Wegscheide, die verschiedene grundsätzliche Optionen offenhalte. Hierzu zählten die Kernenergie, die der **Sachverständige** persönlich als Option nicht begrüßen würde, der Einsatz unkonventioneller Ölreserven, der verstärkte Einsatz von Kohle oder aber die Förderung regenerativer Energieträger. In allen diesen Fällen würden weitreichende Änderungen der politischen, wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen die Folge sein. Wir würden uns daher ohnehin grundsätzlich umorientieren müssen in den nächsten 20 Jahren.

Zu den Grenzvermeidungskosten von CO₂ führt der Sachverständige aus, dass Literaturschätzungen davon ausgingen, dass diese bei –5 bis 100 Dollar pro Tonne lägen. **Prof. Tol** gehe persönlich von einem Wert am unteren Ende dieser Skala aus, d. h. 5 - 25 Dollar pro Tonne. Weiterhin weist der Sachverständige darauf hin, dass zu unterscheiden sei zwischen den globalen Grenzkosten, die erheblich niedriger lägen, und etwa den Kosten für CO₂-Verminderung in Deutschland. Unter der Annahme, die Grenzkosten für CO₂-Verminderungen beliefen sich auf 20 Dollar pro Tonne Kohlenstoff, plädiere der **Sachverständige** für staatliche Eingriffe, die diesen Preis auch den energiewirtschaftlichen Akteuren, z. B. durch Besteuerung, vermittelte. Ob aber zu diesem Preis bereits eine größere Menge Emissionsreduktionen nachgefragt würde, sei zweifelhaft.

Der **Vorsitzende** bedankt sich bei den Sachverständigen **Prof. Dr. Richard S. J. Tol** und **Dipl.-Geograph Thomas Loster** für ihre Beiträge und entlässt beide aus der Anhörung. Die dritte Fragerunde wird eröffnet.

Dritte Fragerunde

Prof. Dr. Eberhard Jochem richtet an den Sachverständigen **Dr. Ulrich Cubasch** die Frage, inwieweit sich bei einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration bis zum Jahr 2100 auch noch darüber hinaus Klimafolgewirkungen ergeben könnten. Als Beispiel führt er den Anstieg des Meeresspiegels an. Fraglich sei nämlich, inwieweit das Klimasystem nur mit erheblicher Verzögerung auf die Treibhausgaskonzentration reagiere und daher selbst eine Stabilisierung der Konzentration im kommenden Jahrhundert noch weit darüber hinaus zu Verschärfungen der Klimaproblematik führen könne. Ferner bittet **Prof. Dr. Eberhard Jochem** den Sachverständigen **Dr. Ulrich Cubasch** um eine Präzisierung der möglichen Auswirkungen der Veränderung der Wolkenbildung, welche in der gesamten Klimamodellierung als besonderer Unsicherheitsfaktor gelte. **Prof. Jochem** greift schließlich die Ausführung des Sachverständigen **Prof. Schönwiese** auf, wonach bei regionalen multiplen Regressionsmo-

dellen ein erheblicher Anteil der festzustellenden Varianzen nicht erklärbar sei, wohingegen bei globalen Regressionsmodellen dieser unerklärte Varianzanteil deutlich absinke. **Prof. Jochem** schließt hieran die Frage an, ob dies nicht beispielsweise für die Region Europa oder den OECD-Raum bedeute, dass man noch nicht die richtigen Zusammenhänge für die Klimamodelle gefunden habe. Auch stelle sich die Frage, inwieweit hier reine Messeffekte eine Rolle spielten. **Prof. Jochem** bittet den Sachverständigen darzutun, was hinter den 80 % unerklärter Varianz bei regionalen Modellen stecken könne.

Prof. Dr. Dieter Schmitt richtet an die Sachverständigen **Prof. Dr. Henry D. Jacoby** und **Prof. Dr. Gernot Klepper** die Frage, wie die Enquete-Kommission mit den Möglichkeiten aktiver und passiver Anpassungsprozesse insbesondere auf die lange Frist umgehen solle. Hintergrund sei der Umstand, dass das Ausmaß der wirtschaftlichen Implikationen des Klimawandels von zahlreichen Faktoren wie der Bewertung der Effekte der räumlichen und zeitlichen Verteilung abhängt, insbesondere aber auch von den passiven und aktiven Anpassungsprozessen im System. Als Beispiel für passive Anpassungsprozesse nennt **Prof. Schmitt** die technologische Entwicklung und den Präferenzwandel, als Beispiele für aktive Anpassungsprozesse führt er die Erfolge gezielter energie- und klimapolitischer Maßnahmen an. Hierzu zählten etwa Züchtungserfolge, Gen-Engineering, Deichbau, Trinkwasserversorgung, künstliche Bewässerung und ähnliches mehr.

An die beiden ökonomischen Sachverständigen richtet **Prof. Schmitt** darüber hinaus die Frage, inwieweit die bislang entwickelten ökonomischen Modelle überhaupt in der Lage seien, auch größere Eingriffe in Energiemärkte beispielsweise in Form massiver Steuererhöhungen adäquat abzubilden. Hintergrund sei, dass gezielte energiepolitische Strategien zur Emissionsminderung, insbesondere, wenn sie größere Dimensionen erreichen sollen, nicht ohne erhebliche Kosten für die Volkswirtschaft bleiben könne. Falls die Verarbeitung derartiger Markteingriffe durch die ökonomische Modellbildung derzeit nicht gelinge, stelle sich die Frage, welche Konsequenzen dies für die Leistungsfähigkeit ökonomischer Bewertungen insgesamt habe.

Prof. Dr.-Ing. Rolf Theenhaus bittet die Sachverständigen **Dr. Ulrich Cubasch** und **Prof. Dr. Ernst Augstein** um eine ergänzende Präzisierung des anthropogenen Klimaeinflusses. Darüber hinaus bittet er darum, darzustellen, welche Zeiträume für entsprechende Betrachtungen zugrunde zu legen seien.

Abg. **Rainer Brinkmann** (SPD) erkundigt sich bei den Sachverständigen **Prof. Dr. Gernot Klepper** und **Prof. Dr. Henry D. Jacoby** nach ihren Einschätzungen bezüglich des Zusammenhangs und des Verhältnisses der von ihnen genannten marktlichen und nicht-marktlichen Faktoren der Klimafolgen. Im Übrigen bittet Abg. **Rainer Brinkmann** (SPD) den Sachverständigen **Prof. Dr. Henry D. Jacoby** um eine Einschätzung der derzeitigen amerikanischen Klimaschutzanstrengungen.

Abg. **Dr. Axel Berg** (SPD) bittet den Sachverständigen **Prof. Dr. Gernot Klepper** um eine Einschätzung der aktuellen energie- und klimapolitischen Instrumente der Ökosteuer sowie des erneuerbaren Energiegesetzes aus volkswirtschaftlicher Sicht. An Herrn **Prof. Dr. Henry D. Jacoby** richtet Abg. **Dr. Axel Berg** (SPD) die Frage, inwieweit durch Förderung erneuerbarer Energien oder das Instrument des Emissions Trading die Chance bestehe, die Kosten zur Erfüllung der Kyoto-Verpflichtungen gering zu halten.

Der **Vorsitzende** bittet Herrn **Prof. Dr. Henry D. Jacoby** darzulegen, welche Indikatoren der Nachhaltigkeit sich aus ökonomischer Sicht empfehlen. An Herrn **Prof. Dr. Gernot Klepper** richtet der **Vorsitzende** die Frage, welche Rolle der Verbraucher im Rahmen eines Strukturwandelprozesses in Richtung auf eine nachhaltige Entwicklung einnehmen könne und welche Instrumente hier zur Stimulierung eines energiesparenden Verbraucherverhaltens eingesetzt werden könnten.

Dr. Felix Christian Matthes erkundigt sich bei dem Sachverständigen **Prof. Ferenc Toth** nach den Emissionsminderungspfaden, die es gestatten würden, die in der schriftlichen Stellungnahme des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung genannten Grenzwerte im Bereich von 550 ppm einzuhalten.

Der **Vorsitzende** bittet nach Abschluss der Fragerunde die Sachverständigen um ihre Antworten.

Prof. Dr. Ernst Augstein führt aus, dass Paläodaten einen Zusammenhang zwischen der Temperaturentwicklung und der Konzentration natürlich emittierter Treibhausgase (insbesondere Kohlendioxid und Methan) in der Atmosphäre eindeutig belegen. Allerdings zeigten neuere Analysen der Messungen, dass die Variationen der Temperatur denen der Treibhausgase voranliefen. Damit sei aber ein Rückkopplungseffekt der nachlaufenden Gase auf die Temperatur nicht ausgeschlossen. Offenbar hätten in der vorindustriellen Zeit Temperaturänderungen Schwankungen der Treibhausgase nach sich gezogen, während in jüngster Zeit beide im Gleichklang variierten. Insbesondere seit Mitte des letzten Jahrhunderts scheint ein direkter Einfluss der Treibhausgase auf den Temperaturanstieg zweifelsfrei durch Modellrechnungen nachgewiesen zu sein. Letztere zeigten an, dass der gemessene Anstieg der bodennahen Lufttemperatur ab ca. 1975 ohne die Einwirkung anthropogener Treibhausgase nicht zu erklären sei. Damit liefern diese Modellergebnisse die Hauptbegründung für einen anthropogenen Einfluss auf das heutige und zukünftige Klima.

Der Sachverständige **Dr. Ulrich Cubasch** erläutert anschließend die sogenannte Fingerabdruckanalyse. Bei diesem Verfahren werde mit Hilfe von Indizien versucht, die Hypothese eines anthropogenen Klimaeinflusses zu widerlegen. Gelingt dies nicht, ergäben sich entsprechende Indizien für die Hypothese. Das Hauptindiz sei die Temperaturänderung in den letzten 100 Jahren. Diese sei so stark ausgefallen, dass sie durch keinen anderen Einfluss erklärbar sei. Beachtlich seien aber nicht nur der globale Temperaturanstieg, sondern auch die regionalen Muster. Auf diese Weise werde ein umfassender Kriterienkatalog erarbeitet, den man versucht mit Hilfe statistischer Daten zu stützen. Dies sei auch für die wesentlichen Parameter gelungen.

Auf die Frage von **Prof. Dr. Eberhard Jochem** antwortet der Sachverständige **Dr. Ulrich Cubasch**, dass sich selbst bei einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen aus den Modellen Effekte ergäben, die zeitlich weit über den Zeitpunkt der Stabilisierung hinausreichten. Besonders eindrucksvoll sei dies im Fall des Meeresspiegels: So führe ein Szenario, das zu einer Stabilisierung der Treibhaus-

gaskonzentrationen in etwa 140 Jahren komme, zu einem Meeresspiegelanstieg in Höhe von 0,5 m. Betrachte man jedoch die weitere Entwicklung des klimatischen Systems über 2.000 Jahre hinaus, so ergebe sich ein kontinuierlicher Meeresspiegelanstieg in Höhe von 2,5 – 3 m. Während dieser Zeit steige die Temperatur insgesamt nicht weiter an. Hier handele es sich um schleichende Entwicklungen, die selbst durch eine Stabilisierung der Emissionen nicht mehr zu stoppen seien. Im Fall des Meeresspiegels sei hierfür ursächlich die Trägheit des tiefen Ozeans.

Zum Problem der Quantifizierung der Unsicherheit beim Faktor Wolkenbildung führt der Sachverständige **Dr. Ulrich Cubasch** aus, dass die jeweiligen Effekte in den einzelnen Modellen sehr unterschiedlich ausfielen, sich jedoch in der Summe der Wirkungen, insbesondere der Reflexionseffekte der Wolkenbildung, eine positive Rückkopplung in Höhe von 10-25 % ergebe.

Der **Vorsitzende** erteilt anschließend Herrn **Prof. Dr. Jacoby** das Wort.

Der **Sachverständige** führt zur Frage der Anpassungsprozesse (Adaption) aus, dass sich passive Anpassungsstrategien dadurch auszeichneten, dass sie ohne gezielte Eingriffe von außen im Rahmen der Marktverhältnisse stattfänden. Aktive Anpassungsprozesse zeichneten sich demgegenüber dadurch aus, dass bei ihnen von staatlicher Seite etwas geschehen müsse. **Prof Jacoby** unterscheide Anpassungsprozesse, die im Rahmen der menschlichen Handlungsmöglichkeiten liegen von solchen, die die natürlichen Ökosysteme betreffen. Er gehe davon aus, dass an dieser Stelle die menschlichen Anpassungsprozesse im Vordergrund stünden. Für Staaten mit marktwirtschaftlichem Einfluss gehe der **Sachverständige** davon aus, dass sich das System insgesamt anpassen werde. Dies gelte für die Landwirtschaft, für den Freizeitbereich, die Forstwirtschaft, den Deichbau und andere Felder. Allerdings vollzögen sich derartige Anpassungen nicht reibungslos. Vielmehr handele es sich um einen allmählichen Prozess mit insgesamt hoher Volatilität. Ginge man demgegenüber zu aktiven Anpassungsprozessen über, so stelle sich zunächst die Frage, wo eigentlich die Schranken und Probleme eines natürlichen Anpassungsprozesses lägen, die ein aktives Eingreifen erforderlich machten. Als Beispiel für ein Versagen passiver Anpassungsmechanismen führt der **Sachverständige** als Beispiel die Situ-

ation des Hausbaus im Strandbereich in den USA an: Hier sei aufgrund vielfältiger Rahmenbedingungen zu beobachten, dass nach massiven Sturmschäden Immobilien zum Teil mehrfach an der gleichen sturmgefährdeten Stelle wiedererrichtet würden. Offensichtlich seien hier natürliche Anpassungsprozesse ausgehebelt.

Als größtes Problem stellten sich nach Auffassung von **Prof. Jacoby** Systeme dar, die insgesamt nicht oder nur wenig anpassungsfähig sind. Komme es zu einem nachhaltigen Klimawandel, so würden die Ökosysteme sehr stark belastet. Beispielsweise sei die Vegetation nicht in der Lage, eine schnelle Entwicklung oder Wanderungsbewegung über wenige Jahrzehnte hinweg zu vollziehen. Dies sei zwar in Kategorien von Jahrhunderten möglich, nicht aber in der kurzen Frist, über die sich der aktuelle Klimawandel zu vollziehen scheine. Überdies würden Anpassungsprozesse dadurch erschwert, dass durch den Bau von Straßen und Kanälen natürliche Anpassungsprozesse der Ökosysteme behindert würden.

Zur Klimaschutzpolitik in den USA erläutert der **Sachverständige**, dass dies im wesentlichen Sache der Bundesstaaten sei und auch auf lokaler Ebene Klimaschutzanstrengungen zu beobachten seien. Er selbst komme aus Cambridge, Massachusetts, das eine eigene "Klimapolitik" durchführe. Im Übrigen verweist **Prof. Jacoby** auf das Beispiel Kalifornien, das in bestimmten Bereichen, etwa der Automobiltechnologie, eine Null-Emissionspolitik verfolge. Allerdings stelle sich die Frage, wie sich Unternehmen auf einen entsprechenden politischen Impuls verhalten. Vielleicht sei zu erwarten, dass diese Elektroautos bauten, allerdings sei dann fraglich, woher dann der zusätzliche Strom für entsprechende Verkehrstechnologien stamme. Anzunehmen sei etwa, dass die Elektrizität in Kohlekraftwerken in Arizona erzeugt werde. Damit habe man zwar in Kalifornien null Emission, allerdings nicht in Arizona. Eine solche Politik könne oftmals ökonomisch nur wenig überzeugen. Viele dieser einzelstaatlichen Initiativen seien auch eher dahingehend zu verstehen, dass die Aufmerksamkeit von Öffentlichkeit und Industrie gewonnen werde. Oftmals sei zu beobachten, dass die entsprechenden Regelungen auch wieder revidiert oder, falls der Termin des Inkrafttretens näher rücke, wieder aufgehoben oder entschärft würden. Hier befinde sich einiges im Fluss. Über derartige Formen symbolischer Politik würden aber erhebliche Ressourcen verschleudert.

Zu den erneuerbaren Energien erklärt der **Sachverständige**, dass diese selbstverständlich Teil jeder Klimaschutzlösung sein müssten. Allerdings hätte der Einsatz erneuerbarer Energie praktisch nichts mit den Klimaschutzbemühungen bis zum Jahre 2010 zutun. Man könne den Sektor der erneuerbaren Energien bis zu diesem Zeitpunkt nicht auf wirtschaftlicher Grundlage entsprechend expandieren lassen. Die Grenzen für die einzelnen Energieträger seien insgesamt zu eng gesteckt, als dass sie binnen eines Jahrzehnts erfolgversprechend überwunden werden könnten.

Auf die Frage, wie gut die ökonomischen Modelle seien, sofern eine wirklich einschneidende Änderung modelliert werden müsse, erklärt der **Prof. Jacoby**, dass auch eine Politik, die zu Grenzvermeidungskosten für CO₂ von 200 Dollar pro Tonne führe, keine extremen Auswirkungen haben werde. Viel gravierender stelle sich die Situation dar, wenn man losgelöst von einem CO₂-Preis zu einer mengenmäßigen Reduktionsbetrachtung komme, etwa beispielsweise einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 60 %. Die sich hierbei einstellenden Effekte seien letztlich unabsehbar.

Hinsichtlich der Frage 20 im Fragenkatalog zur maximal tolerierbaren Emissionskonzentration erklärt der **Sachverständige** abschließend, dass die genannten Werte etwa von 450 ppm mehrdeutig seien und zur Anleitung politischer Maßnahmen eher ungeeignet wären. Fraglich sei insbesondere, was in diese Konzentrationsgrenzwerte einbezogen werde. Handele es sich um reines CO₂ oder auch um Methan, seien auch die indirekten Methanwirkungen oder die indirekten Wirkungen des Ozons enthalten, wie stehe es um die sogenannten Nicht-Kyoto-Gase. Eine insgesamt überzeugende Formulierung von Langzeitzielen sei nur über die Nettorate in der Atmosphäre, d. h. durch die unmittelbare Strahlungsbetrachtung möglich. Der **Sachverständige** hält daher die von der IPCC propagierte Grenzwertdiskussion für nicht weiterführend.

Prof. Dr. Gernot Klepper wendet sich zunächst dem Problem der Adaption zu. Der **Sachverständige** stimmt **Prof. Dr. Henry D. Jacoby** insofern zu, dass sich Marktsysteme gewiss als flexibel erwiesen. Die eigentliche Problematik liege jedoch darin

begründet, dass zwischen den Emissionen und den später eintretenden Klimaänderungen eine sehr lange Zeit verstreiche. Mögliche flexible Adaptionen des Marktsystems auf bereits sich abzeichnende oder eintretende Klimaänderungen könnten jedoch die Volkswirtschaft teurer zu stehen kommen, als eine frühzeitige Anpassung, lange bevor die ersten Klimaänderungen virulent würden. Es dürfe allerdings pessimistisch eingeschätzt werden, dass Wirtschaftssubjekte sich für 50 oder 100 Jahre im voraus an spätere Geschehnisse anpassten. Auf die Frage, wie die Enquete-Kommission mit dem Problem der Adaption umgehen solle, antwortet der **Sachverständige**, dass stets zu unterscheiden sei, was das Marktsystem alleine an Anpassungsleistungen erbringen könne und wie ergänzend die Politik eingreifen müsse, um entsprechende Anpassungsprozesse zu fördern. Aus eigenen Modellberechnungen sei bekannt, dass allein durch die langfristig steigenden Preise fossiler Energieträger und durch den sich daraus ergebende Strukturwandel die Industriestaaten auch ohne weitere Politikeingriffe künftig kaum mehr CO₂ emittieren werden, als sie dies gegenwärtig tun. Da dies allerdings klimapolitisch nicht ausreiche, sei die Politik selbstverständlich gefordert, ergänzend Maßnahmen zu ergreifen. Die Kommission sei daher gut beraten, sich anzusehen, was der Markt alleine könne und an welchen Stellen demnach ergänzender Handlungsbedarf für die Politik bestehe. Insgesamt dürfe natürliche Adaption nicht unterschätzt werden, dies habe sich bei allen Modellberechnungen gezeigt. Auf die Frage, ob auch extremes Eingreifen in die Märkte ökonomisch modellierbar sei, stellt **Prof. Klepper** klar, dass dies gegenwärtig von den Modellen nicht zu leisten sei. Aus den Berechnungen, die insbesondere am Institut für Weltwirtschaft in Kiel angestellt worden seien, lasse sich ableiten, dass auch Kohlenstoffpreise bis 800 und 1.000 US-Dollar modellierbar und verkraftbar seien, darüber hinaus hingegen sei dies nicht mehr möglich. Dies sei sicherlich eine Schwäche der Modellbetrachtung. Als Grund für die Überforderung der Modelle bei drastischem Eingreifen in das System nennt der **Sachverständige** den Umstand, dass dann die Substitutions- und Adaptionmöglichkeiten des Modells ausgeschöpft seien. In der Realität müsse es daher darüber hinaus weitere Anpassungsschritte geben. Dies könne beispielsweise im Technologiebereich geschehen. Insofern würde also ein ökonomisches Modell von falschen Voraussetzungen ausgehen. Dies müsse ferner im institutionellen Rahmen geschehen, der von einem ökonomischen Modell in der Regel als Konstante unterstellt werde. In diesem Zusammenhang müssten ent-

weder die Modelle verbessert werden oder aber eingestanden werden, dass dies modellmäßig nicht abbildbar sei. Hiervon unabhängig bestünden in jedem Falle politische Optionen, die solche Adaptionen auch für drastische Änderungen ermöglichen würden.

Auf die Frage des Abg. **Rainer Brinkmann** (SPD) nach dem Verhältnis von Markteffekten und externen Effekten erläutert der Sachverständige **Prof. Dr. Gernot Klepper**, dass sich - wie sich bereits aus seiner schriftlichen Stellungnahme ergebe - eine Quantifizierung der Nicht-Markt-Effekte derzeit nicht seriös durchführen lasse. Von daher sehe er sich nicht in der Lage, hierzu eine gehaltvolle Schätzung abzugeben. Allerdings habe sich bei Modellrechnungen in Kiel folgendes gezeigt: Unter der Voraussetzung pessimistischer Klimaprognosen hätten ökonomische Modelle für die Auswirkungen in der Landwirtschaft und den Deichbau zur Begrenzung der Schäden aus dem Meeresspiegelanstieg gezeigt, dass sich hieraus kaum nennenswerte volkswirtschaftliche Effekte über die nächsten drei bis vier Jahrzehnte ergäben. Über die dabei auftretenden externen Effekte wüsste man gar nichts. Nach seiner persönlichen Einschätzung gefragt, antwortet der **Sachverständige**, dass die externen Effekte jedoch außerordentlich wichtig seien. Diese könnten in der Größenordnung des Faktors 3 über den Markteffekten liegen.

Auf die Frage des Abg. **Dr. Axel Berg** (SPD) nach der Einschätzung des Sachverständigen der aktuellen energiepolitischen Instrumente, insbesondere der Ökosteuer, erklärt **Prof. Dr. Gernot Klepper**, dass sich die Ökosteuer danach messen lassen müsse, inwieweit es ihr gelinge, eine Weichenstellung für die neue gesellschaftliche Orientierung einer nachhaltigen Energieversorgung zu leisten. Hierzu müsse sie allerdings die richtigen Anreize setzen. Dies sei bei der gegenwärtigen in Deutschland erhobenen Ökosteuer nicht in dem Maße der Fall, wie es sein sollte. Der Grund hierfür liege darin, dass sie nicht emissionsbezogen sondern energiebezogen und auch hier nur auf einzelne Energieträger erhoben werde. Insofern gebe es hier erheblichen Verbesserungsspielraum. Wenn das Ziel darin bestehe, eine langfristige Umstrukturierung zu initiieren, müsse der Preisanreiz auch die richtige Richtung haben. Es genüge jedenfalls nicht, einfach nur einen Preisanreiz zu generieren.

Auf die Frage des **Vorsitzenden** nach der Rolle des Verbrauchers erläutert der **Prof. Klepper**, dass auch dann, wenn in ökonomischen Modellen von Wirtschaft die Rede sei, stets Angebot und Nachfrage gleichzeitig betrachtet würden. Der **Sachverständige** stimme zu, dass die Rolle der Nachfrage beim Strukturwandel nicht unterschätzt werden dürfe. Aber auch für die Nachfrage gelte natürlich, dass diese in hohem Maße preispfindlich sei und es daher darauf ankomme, politisch die richtigen Preisanreize zu setzen. Langfristig seien darüber hinaus natürlich auch Effekte des Bewusstseinswandels, der Präferenzänderungen und der Wahrnehmung von Risiken entscheidend.

Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese geht auf die Frage ein, warum man im globalen Mittel Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bezüglich der Klimaproblematik relativ gut nachweisen könne, im regionalen Maßstab hier hingegen erhebliche Probleme aufträten, was sich in den unerklärten Varianzen dokumentiere. Der **Sachverständige** verweist hierzu erneut auf die Foliendarstellung der globalen Mitteltemperatur, die fast einen linearen Trend zeige. Der einzige Faktor, der hier sinnvoll in einem Ursache-Wirkungs-Zusammenhang verkoppelt werden könne, sei der Strahlungsantrieb der Treibhausgase. Die Klimamodellrechnungen, die unter anderem von Herrn **Dr. Cubasch** vorgelegt worden seien, zeigten im wesentlichen übereinstimmend seit 1850 einen Anstieg der Temperatur infolge des anthropogenen Klimaeffekts von 1 Grad. Vergleichbare Ergebnisse erhalte man auch über die empirisch-statistische Analyse von Zeitreihen, die eine reine Ähnlichkeitsbetrachtung ohne inhaltliche Würdigung der zugrundeliegenden naturwissenschaftlichen Prozesse sei, also eine Art Plausibilitätsbetrachtung. In der regionalen Betrachtung zeige sich demgegenüber aber eine hochkomplexe Struktur, die im Einzelfall auch so aussehen könne, dass bei insgesamt globaler Erwärmung eine regionale Abkühlung zu erwarten sei. Während sich die globale Temperaturentwicklung durch die gängigen Klimamodelle recht gut abbilden ließe, sei deren Erklärungskraft hinsichtlich der regionalen Struktur äußerst begrenzt. Dies sei um so misslicher, als im Rahmen der Klimawirkungsforschung gerade die kleinräumigen Auswirkungen von Klimaänderungen interessant seien. Auch die rein statistischen Analysen seien nicht in der Lage, regionale Feinstrukturen hinreichend zu erklären. Als Gründe für diese Probleme nennt der **Sachverständige** unter anderem regionale Zirkulationsanomalien der Atmosphäre. Als

Beispiel hierfür führt **Prof. Schönwiese** die nordatlantische Zirkulation an. Diese sei in den letzten Jahren stark in den Mittelpunkt gerückt, insbesondere werde hier auch das deutsche Klimaforschungsprogramm einen Schwerpunkt setzen. Die nordatlantische Zirkulation sei grob gesprochen definiert als die Luftdruckdifferenz zwischen dem Azorenhoch und dem Islandtief. Sie zeige eine äußerst komplizierte Zeitstruktur. Diese Luftdruckdifferenz zeige in den letzten Jahrzehnten einen Trend nach oben, was mit einer intensiveren Westwinddrift einhergehe. Dies zeige sich insbesondere im Winter an mildereren Temperaturen, höheren Niederschlägen und eventuell einer verstärkten Sturmintensität. Bei genauerem Hinsehen ergebe sich jedoch ein hochkomplizierter Detailzusammenhang. Bei einer statistischen Analyse werde deutlich, dass der Einfluss dieser Luftdruckdifferenz in Europa das Klimageschehen sehr stark beherrsche, im globalen Mittel hingegen werde der Einfluss verrechnet durch zahlreiche weitere Einflüsse. Regional begrenzte Zirkulationsvorgänge würden sich daher im globalen Schnitt oftmals "wegmitteln". Daher sei es erheblich einfacher, Aussagen im globalen Maßstab zu treffen. Ein zweiter Grund seien die sogenannten topographischen Effekte. Als Beispiel nennt der **Sachverständige** Luftströme, die auf Strahlungsantrieb in der Weise reagieren, dass sie sich intensivierten. Treffen derartige Luftströme beispielsweise auf einen Gebirgszug, so sei im Einzelfall unklar, wie weit die daraus resultierenden Effekte reichen. Weitere Faktoren im regionalen Maßstab seien durch Bewölkung und Niederschlag gegeben, die für die regionale Temperaturreaktion entscheidend seien. Die Schwierigkeiten, die sich bei einer kleinräumigen Vorhersage ergäben, seien bereits an der gewöhnlichen Wettervorhersage erkennbar. Insgesamt sei die Regionalisierung der Klimaforschung als Problem erkannt und werde intensiv bearbeitet. In den Klimamodellen wie sie beispielsweise von **Dr. Cubasch** erarbeitet würden, geschehe dies dadurch, dass die Gitterpunktauflösung kleinräumiger werde. Auch die statistischen Analysen versuchten zunehmend regionalisierte Daten einzubeziehen; all dies sei aber erst auf dem Weg.

Prof. Dr. Ferenc Toth nimmt anschließend zum Problem der Konzentrationsziele und alternativer Konzentrationspfade Stellung. Die Erreichung des Konzentrationsziels 450 ppm sei sehr teuer, da hier Emissionen kurzfristig reduziert werden müssten. Dies bedeute, dass Kapital im Bereich der Energieerzeugung und -umwandlung noch vor Beendigung der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlagen entwertet würde

und durch unreife und noch relativ teure Energietechnologien ersetzt werden müsse. Beim Zielpfad 550 ppm bestünden hingegen weitere Spielräume, die sich dadurch auszeichneten, dass entweder Emissionsreduktionen sofort vorgenommen werden könnten oder aber zunächst Investitionen in verbesserte Technologie erfolgten, die zu einem späteren Zeitpunkt Emissionsreduktionen zu erheblich geringeren Kosten erlaubten. Welche Pfade insgesamt die kostengünstigsten darstellen, sei unter den Modellierern heftig diskutiert; zwischenzeitlich zeichne sich ab, dass Ergebnisse bestätigt würden, wonach sogenannte WRE-Pfade am kostengünstigsten abschnitten. Als Gründe hierfür führt der **Sachverständige** neben dem bereits genannten Technologie- und Kapitalargument die Diskontierung an, d. h. bei diesen Szenarien fielen die (höheren) Kosten zu einem späteren Zeitpunkt an, sowie den sogenannten Kohlenstoffzyklusbonus. In diesem Zusammenhang weist **Prof. Toth** darauf hin, dass spätere effektivere Emissionsreduktionen keineswegs Passivität bedeuten müssten. Die Politik müsse in der Zwischenzeit die energiepolitischen Akteure für eine Politik der Nachhaltigkeit gewinnen und mobilisieren, Technikforschungsprogramme initiieren und ähnliches mehr. Im Übrigen führe erst eine sorgfältige Vorbereitung der institutionellen Rahmenbedingungen und die Installierung eines funktionsfähigen internationalen Regimes zu wirksamem Klimaschutz. All dies brauche aber Zeit.

Der **Vorsitzende** bedankt sich für die Ausführungen der Sachverständigen und ruft zu Wortmeldungen für die vierte Fragerunde auf.

Vierte Fragerunde

Dr. Hans-Joachim Ziesing richtet an die Sachverständigen die Frage, ob und inwieweit sich die Enquete-Kommission vor dem Hintergrund der durch die Sachverständigen heute ausgebreiteten neueren Forschungsergebnisse weiterhin auf die klimapolitischen Forderungen der früheren Klima-Enquete beziehen sollte, die Treibhausgasemissionen weltweit um 50 % und in Deutschland sogar um 80 % bis zur Mitte dieses Jahrhunderts zu reduzieren, oder ob dies nach Einschätzung der Ex-

perten keine sinnvolle Zielsetzung mehr sei. Mit dieser Frage angesprochen werden die Sachverständigen **Prof. Dr. Ferenc Toth**, **Dr. Ulrich Cubasch** und **Prof. Christian-D. Schönwiese**.

Prof. Dr. Jürgen Rochlitz fragt die Sachverständigen **Prof. Dr. Gernot Klepper** und **Prof. Dr. Henry D. Jacoby**, inwieweit sich ein Klimawandel in den nächsten 20 oder 30 Jahren überhaupt noch stoppen lasse, ohne dass dies das ökonomische Modell des immerwährenden Wachstums zur Aufgabe zwingt, und ohne dass es zur Stärkung internationaler Institutionen mit massiven Eingriffsbefugnissen in nationale Politik komme.

Prof. Dr. Alfred Voß richtet an die Sachverständigen die Frage, was heute als wissenschaftlich belastbarer Sachstand über die Folgen von Klimaveränderung anzusehen sei. Insbesondere erkundigt er sich nach Aussagen über die mutmaßlichen Gewinner und Verlierer von Klimaveränderungen insbesondere in einer regionalen Gliederung. In einer weiteren Frage nimmt **Prof. Voß** Bezug auf die Ausführungen von **Prof. Jacoby**, wonach die vorliegenden modellgestützten Aussagen zu den Schadenskosten von Klimaveränderungen sowie zu den Vermeidungskosten von Treibhausgasemissionen eine große Bandbreite aufwiesen und die entsprechenden Schätzungen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet seien. Hier stelle sich die Frage, inwieweit ökonomische Modelle sinnvoll für die Fundierung aktueller klima- und energiepolitischer Entscheidungen genutzt werden könnten, oder sei umgekehrt davon auszugehen, dass die Modellaussagen derart unsicher seien, dass sie keine Basis für laufende Politikentscheidungen bereithalten könnten. Schließlich erkundigt sich **Prof. Voß** bei **Prof. Jacoby**, ob nach dessen Vorstellungen Wege existierten, die globalen CO₂-Emissionen über die nächsten 50 Jahre auf 50 % in ökonomie- und sozialverträglicher Weise zu reduzieren.

Dr. Hans Jörg Henne nimmt Bezug auf die Aussagen des Sachverständigen **Prof. Dr. Ernst Augstein**, dass sich der klimatologische Kenntnisstand in den letzten Jahren signifikant verbessert habe. Hieran schließt **Dr. Henne** die Frage an, wann dies auch für die *ökonomischen* Modelle gelten werde. In welchem Zeitraum sei hier mit einer Verbesserung der Modelle derart zu rechnen, dass sie politische Entscheidun-

gen fundieren könnten. An **Priv.-Doz. Dr. Andreas Wahner** richtet er eine Frage zur Rolle des Ozons. In diesem Zusammenhang sei ja offenbar eine Regulierung von Methan und Lachgas angezeigt. Diese Reaktanten berührten vorwiegend den Sektor Ernährung und Landwirtschaft. Vor dem Hintergrund, dass immer mehr Menschen besser zu ernähren seien, stelle sich die Frage, wie im Bereich der Düngung (Lachgas) und der Rinderhaltung (Methan) eine Regulierung aussehen könne.

Prof. Dr. Peter Hennicke fragt die Sachverständigen **Dr. Ulrich Cubasch** und **Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese**, was sich gegenüber den Erkenntnissen der beiden vorangegangenen Klima-Enquete-Kommissionen in Bezug auf die Handlungsempfehlungen konkret verändert habe. Hinsichtlich des Stichwortes der „Klimakatastrophe“ erklärt **Prof. Hennicke**, auch er halte den Begriff semantisch für verfehlt. Das Klima ändere seine Gleichgewichtsposition, was allerdings katastrophale Auswirkungen auf Systeme habe, die sich nicht schnell genug anpassen könnten. An **Prof. Dr. Gernot Klepper** richtet **Prof. Hennicke** die Frage, wie wir künftig die real beobachteten Effizienzsteigerungsraten auch ökonomisch modellendogen erfassen könnten. **Prof. Hennicke** verweist auf eigene Modellrechnungen, die lediglich von einer Diffusion bereits bekannter Technologien ausgehen und bereits einen langfristigen Effizienzsteigerungsgewinn von jährlich 2 % ergeben. Auch in China sei gegenwärtig eine Effizienzsteigerung von 2 bis teilweise 3 % zu beobachten, wenn auch nicht über Jahrzehnte hinweg. Es stelle sich daher die Frage, wie entsprechende reale Effizienzsteigerungsraten modelliert und in ökonomischen Aussagen festgehalten werden könnten. Insbesondere die Beobachtung, dass allein in Deutschland 600 Contracting-Unternehmen auf der Suche nach Effizienzpotenzialen seien, zeige, dass es hier offenbar einen unentdeckten Markt für Effizienzsteigerungen gebe, der auch in den Modellen adäquat berücksichtigt werden müsse.

Abg. **Prof. Dr. Paul Laufs** (CDU/CSU) weist darauf hin, dass als neuerer Erkenntnis der Klimaforschungen wohl die Notwendigkeit einer stärkeren regionalen Differenzierung der Betrachtung zählen könne. Hierauf Bezug nehmend richtet er an **Dr. Ulrich Cubasch** die Frage, wie kleinräumig sich derzeit die regionale Gliederung darstelle, für die noch aussagekräftige Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge abgeleitet werden könnten. Darüber hinaus fragt Abg. **Prof. Laufs** (CDU/CSU), was der Sachverstän-

dige hinsichtlich der regionalen Auflösungsgenauigkeit für die Zukunft erwarte und in welchem Zeitrahmen hier verlässliche Aussagen abzuleiten wären.

Abg. **Dr. Axel Berg** (SPD) richtet an die Sachverständigen **Prof. Dr. Gernot Klepper** und **Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese** die Frage, ob sich aus den Maßnahmen für den Klimaschutz über die mittlere Frist (20-30 Jahre) eher ein volkswirtschaftlicher Schaden oder ein volkswirtschaftlicher Nutzen ergebe und bittet gegebenenfalls um eine Quantifizierung.

Der **Vorsitzende** bittet nun die Sachverständigen um ihre Antworten.

Priv.-Doz. Dr. Andreas Wahner nimmt Bezug auf die Frage nach dem Anteil der Ozonbildung, deren Abhängigkeit von NO_x und VOC sowie Maßnahmen, um den Ozonzuwachs zu begrenzen. Hierzu gebe es verschiedene Antworten. Der größte Ozonzuwachs sei in Gebieten zu erwarten, wo die Population am stärksten wachse und wo zusätzlicher Verkehrseinsatz zu erwarten sei. Als Beispiel führt der **Sachverständige** China an. In allen IPCC-Szenarien sei durchgängig ein Anstieg der Ozonbelastung festzustellen, der allein durch den Zuwachs der Emissionen selbst bei Einsatz bester Technologien verursacht werde. Die Frage sei allein, in welchem Umfang Ozon zunehme. Als Strategie zur Begrenzung der Ozonemissionen biete sich der Einsatz bester Technologien zur Emissionsbegrenzung sowie die sauberste Gewinnung von Energie an. Als Beispiel führt der **Sachverständige** die Emissionen von NO_x aus dem Verkehr an, welcher in Deutschland rückläufig sei. Die Ozonbelastung bei gleicher Wetterlage wäre damit insgesamt geringer. Auch könne seit einigen Jahren Europa kein signifikanter Ozonanstieg mehr festgestellt werden.

Prof. Dr. Ferenc Toth führt zur Stabilisierung der Emissionen bei 550 ppm nochmals aus, dass die Klimamodelle bei einer zeitlichen Optimierung der Emissionsprofils über das kommende Jahrhundert für das Jahr 2050 etwa 10-15 % Reduktion gegenüber den jeweiligen Referenzpfaden ergäben (nicht also gegenüber einem einzelnen Referenzjahr wie 1990). Bis zum Jahre 2100 zeigten die Modelle eine Reduktion gegenüber den jeweiligen Referenzpfaden von 70-80 %. Dies führe zu einer Stabilisierung auf 550 ppm.

Zu den Klimafolgen verweist der **Sachverständige** auf die 2.000 Manuskriptseiten, die die Working-Group II des IPCC gegenwärtig für den 3. Bericht zusammengetragen hätte. In einigen sensiblen Bereichen des Ökosystems seien die Folgen des Klimawandels bereits jetzt statistisch nachweisbar. Die bisherige Wirkungsforschung habe mit zahlreichen Problemen zu kämpfen. Die meisten Studien bezögen sich ohnehin nur auf die Marktsegmente, beispielsweise Land- und Forstwirtschaft, und dies überwiegend im Bereich der OECD-Länder. Auswirkungen auf Öko-Systeme, die menschliche Gesundheit aber auch die Marktsektoren in Entwicklungsländern seien dagegen nur sehr rudimentär untersucht worden. Insgesamt seien fundierte Aussagen über die sozio-ökonomische Anpassungsfähigkeit und Verletzlichkeit der gesellschaftlichen Systeme erst jetzt Gegenstand ernstlicher Analysebemühungen. Eine grobe Zusammenfassung der Ergebnisse der Klimawirkungsforschung unter der Annahme einer Steigerung der globalen Mitteltemperatur um 1-2 Grad könne etwa wie folgt aussehen: Einige sensible Ökosysteme werden sicherlich verlorengehen. Darüber hinaus werden Wasserressourcen und Verfügbarkeit von Wasser in zahlreichen, insbesondere ariden Gebieten, problematisch werden. Allerdings zeigten die Modellbetrachtungen, dass sich die meisten sozio-ökonomischen Systeme mit Ausnahme der ärmsten Länder an die neuen Klimabedingungen anpassen könnten. Insbesondere für den Bereich Agrar- und Forstwirtschaft zeigten einige neuere Studien sogar leichte Vorteile durch den Klimawandel. Die Lebensmittelproduktion werde sich mittelfristig nicht verknappen und der Trend sinkender Lebensmittelpreise werde zunächst anhalten. Gehe man allerdings von einer Erhöhung der globalen Mitteltemperatur von 2-3 Grad aus, so ergäben sich größere Verluste an Ökosystemen, verschärfte Wasserprobleme und auch die Nahrungsmittelproduktion erreiche einen Sättigungswert, von dem dann negative Wirkungen zu erwarten seien.

Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese verweist darauf, dass es noch schwieriger sei, die Auswirkungen des Klimawandels zu erfassen als Erscheinungsformen und Ursachen des Klimawandels selbst. Dies gelte insbesondere bei einer tiefen regionalen Gliederung. Was mögliche Auswirkungen des Klimawandels für den deutschen Raum angeht, so verweist der **Sachverständige** auf mögliche landwirtschaftliche Probleme, z. B. durch Dürren im Sommer, was etwa im regenarmen Nordost-

Deutschland zum Problem werden könnte. Noch stärker seien allerdings negative Auswirkungen infolge zunehmender Winterniederschläge, insbesondere durch Überschwemmungen. Insgesamt sehe der **Sachverständige** Deutschland eher als leichten Verlierer des Klimawandels, wenn auch im Einzelfall durchaus positive Effekte zu verzeichnen seien. **Prof. Schönwiese** verweist zu den Vorteilen beispielhaft auf den CO₂-Düngeeffekt durch höhere CO₂-Konzentration in der Luft, die zu einem stärkeren Pflanzenwachstum beitrage. Insgesamt zeige aber ein Vergleich mit dem mediterranen Raum, dass dort die Verluste und Schäden erheblich höher seien. Hiermit sei insbesondere dann zu rechnen, wenn sich der bereits erkennbare Trend zu weniger Niederschlag fortsetze. Zusätzlich ergebe sich Vegetationsstress durch höhere Temperaturen und entsprechend vermehrte Verdunstung. Insgesamt dürften erhebliche landwirtschaftliche Probleme auf den mediterranen Raum zukommen. Wende man sich den Tropen zu, so sei insbesondere das Problem tropischer Wirbelstürme zu nennen. Früher sei man davon ausgegangen, dass bei einem Anstieg der Temperatur das Gebiet größer werde, in dem Wirbelstürme entstehen könnten, da diese eine bestimmte Schwellentemperatur zur Entstehung benötigen. Mittlerweile sprächen aber Anhaltspunkte dafür, dass die Erwärmung nicht in Bodennähe, sondern im Bereich der mittleren und oberen Troposphäre erfolge. Dies würde stabilisierend wirken mit der Folge geringerer Konvektionsbewölkung. Insgesamt sei die Genese tropischer Wirbelstürme äußerst kompliziert. In den Tropen sei jedoch ferner das El-Nino-Phänomen zu beachten. Hier sprächen zahlreiche Indizien dafür, dass das El-Nino-Phänomen in Zukunft häufiger und länger anhaltend auftreten werde, begleitet insbesondere von einer massiven Verschiebung der Niederschlagsintensität.

Zur Frage von Gewinnern und Verlierern der Klimaänderungen führt **Prof. Schönwiese** aus, dass nach seiner Auffassung die Verlierer überwiegen, allerdings gebe es auch einige Gewinner, zu denen bei großzügiger Betrachtung durchaus auch Mitteleuropa gezählt werden könne. Allerdings dürfe hier nicht vergessen werden, dass auch die „Gewinner“ langfristig verlieren könnten, beispielsweise durch erheblichen Migrationsdruck und zunehmende Konfliktpotenziale zwischen Gewinnern und Verlierern. Auch sei es möglich, dass Krankheiten infolge höherer Luftfeuchtigkeit und höherer Temperatur günstigere Ausbreitungsbedingungen vorfänden. Hier seien noch einige Überraschungen möglich. Insgesamt bewertete der **Sachverständige**

den veränderten Erkenntnisstand seit dem 2. IPCC-Bericht und den beiden Klima-Enquete-Kommissionen des Deutschen Bundestages dahingehend, dass sich im Grundsatz wenig geändert habe, im Detail hingegen recht viel. Es würden sich die Indizien verdichten, dass es einen vom natürlichen Einfluss unterscheidbaren menschlichen Einfluss auf das Klimageschehen gebe. Dies sei zwar noch kein Beweis, allerdings müsse die Politik auch auf Wahrscheinlichkeiten hin handeln, die sich insgesamt sicherlich erhöht hätten.

Prof. Dr. Gernot Klepper antwortet auf die Frage, ob man den Klimawandel noch stoppen könne und was dies ökonomisch kosten würde. Er zitiert Naturwissenschaftler, die davon ausgehen, dass der Klimawandel nicht mehr aufzuhalten sei, weil das Signal bereits im System sei. Es sei nicht mehr rückgängig zu machen, was in der Vergangenheit an CO₂ emittiert wurde, geschweige denn sei es möglich, die CO₂-Emissionen von heute auf morgen auf Null zu reduzieren. Die Frage eines Klimawandel-Stopps stelle sich daher nicht mehr. Was die Kosten angehe, die dadurch verursacht würden, dass "alles" getan werde, um den Klimawandel zu beherrschen, so erlaube aus ökonomischer Sicht eine solche Frage keine vernünftige Beantwortung. Zunächst müsse geklärt werden, wie weit die Gesellschaft bereit sei, Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen durchzuführen. Daraufhin könnten ökonomische Aussagen über die zu erwartenden Kosten gemacht werden.

Auf die Frage, ob ein wirksamer Klimaschutz vorstellbar sei, ohne ein internationales Regime mit Eingriffsbefugnissen in Souveränitätsrechte nationaler Staaten führt der **Sachverständige** aus, dass er davon ausgehe, dass ein solches Regime unabdingbar sei für einen effektiven Klimaschutz. Eine partielle Aufgabe nationaler Souveränitätsrechte sei daher zielführend. In welcher institutionellen Form ein solches Regime Gestalt annehmen könne, sei derzeit noch nicht absehbar, allerdings zeichne sich der Weg dorthin ja bereits ab. Dies sei schon deshalb zwingend, weil eine wirksame Klimaschutzpolitik auch die Entwicklungs- und Schwellenländer auf globaler Ebene mit einbeziehen müsse.

Hinsichtlich der Klimawirkungen führt der **Sachverständige** aus, dass das Wissen hierüber bisher äußerst unzulänglich sei. Aus seinen eigenen Forschungen berichtet

Prof. Klepper, dass beispielsweise Studien über die Klimafolgen im landwirtschaftlichen Bereich in ökonomische Modelle eingespeist worden seien mit der Fragestellung, was regional als Ergebnis zu erwarten sei. Die ökonomischen Rückkopplungseffekte im Modell für die landwirtschaftliche Produktion hätten vor allem Indien und andere tropische Länder als stark betroffen ausgewiesen. Insgesamt habe sich eine massive Verschiebung in den Welthandelsströmen für Agrarprodukte ergeben. Dabei seien der mediterrane Raum und Nordamerika als Gewinner ausgewiesen, die sich zunehmend auf landwirtschaftliche Produktion spezialisierten. Auch der mediterrane Raum sei trotz negativer Klimaauswirkungen dennoch mit einem Wettbewerbsvorteil bei Agrarprodukten aus ökonomischer Sicht ausgestattet. Die Dritte Welt werde sich hingegen zu einem noch größeren Netto-Agrar-Importeur entwickeln, als dies bereits bisher der Fall sei. Insgesamt seien Gewinner und Verlierer von Klimaänderungen auch ökonomisch durchaus identifizierbar.

Auf die Frage von **Prof. Hennicke** nach der Verbesserung der Modellierung erklärt **Prof. Klepper**, dass mittlerweile mit regional disaggregierten Fortschrittsraten gerechnet werde. In den Modellen würden daher Länder mit niedrigerem Entwicklungsstand von Technologiediffusion profitieren und entsprechend höhere Wachstumsraten in den Modellen zugewiesen bekommen. In den aktuellen Modellen würde beispielsweise für China auch mit einer Fortschrittsrate von 3-3,5 %, später abnehmend, gerechnet. Insgesamt sei also eine starke Differenzierung in den Modellen vorhanden. Dies alles könne jedoch nicht verhindern, dass Emissionen weiter steigen, da das Wachstum insgesamt schneller sei, als eine Kompensation durch den technischen Fortschritt möglich wäre. Eine zweite Verbesserung in ökonomischen Modellen ergebe sich daraus, dass mittlerweile die Erkenntnis, dass Technologiediffusion an Direktinvestitionen gebunden sei, auch in den neueren Modellen entsprechend verarbeitet werde. Schließlich, und hieran werde derzeit in Kiel gearbeitet, sei eine Verknüpfung von Bottom-Up- und Top-Down-Analyse anzustreben.

Ergänzend nimmt **Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese** nochmals Stellung zur Frage von Abg. **Dr. Axel Berg** (SPD), was die Maßnahmen des Klimaschutzes im Vergleich zu den Klimaschäden kosteten. Ausgehend vom Datenmaterial der Münchner Rückversicherung hinsichtlich der großen Naturkatastrophen in der Dekade 1990 –

1999 (Stürme, Überschwemmungen etc.) würden hier 600 Milliarden US-Dollar Schäden geschätzt. Wenn man davon ausgehe, dass hier nicht alles erfasst sei, könne man schätzungsweise von 1.000 Milliarden US-Dollar für diese Dekade ausgehen. Dies mache pro Jahr 100 Milliarden US-Dollar. Der **Sachverständige** verweist darauf, dass es durchaus Studien gebe, die versuchten, Klimaschäden zu beziffern. Natürlich gebe es hier erhebliche Probleme, beispielsweise bei der Monetarisierung von Toten aufgrund tropischer Wirbelstürme. Insgesamt sei aber die Zahl von 100 Milliarden US-Dollar pro Jahr eine realistische Schätzung der derzeitigen Schäden. Selbstverständlich könne man davon ausgehen, dass diese Schäden in der Zukunft noch zunehmen würden. Hinsichtlich der Vermeidungsmaßnahmen verweist **Prof. Schönwiese** darauf, dass es durchaus Maßnahmen gebe, die sich "rechneten". Hier sei insbesondere an den Energiebereich und den Vegetationsschutz zu denken. Im Energiebereich seien durchaus Maßnahmen vorstellbar, die per Saldo nichts zusätzlich kosteten oder sogar Profit abwürfen.

Prof. Henry D. Jacoby antwortet anschließend auf die Frage, ob deutliche Emissionsminderungen möglich seien, ohne das Wachstumsmodell preiszugeben. Der **Sachverständige** beantwortet die Frage mit einem klaren Ja; es handele sich um eine Frage des politischen Willens. Das Wachstum könnte insgesamt niedriger ausfallen, allerdings handele es sich hierbei nicht um ein Verlassen des traditionellen Wachstumspfades, sondern um einen etwas anderen Pfad, daher sei dies kein grundsätzlicher Unterschied. Außerdem sei darauf zu verweisen, dass reiche Staaten von einem hohen Ausgangsniveau aus operierten. Die Frage, ob internationale Organisationen die Souveränität der Einzelstaaten in diesem Prozess überwinden müssten, äußert der **Sachverständige** Zweifel, ob es sich so in der Zukunft entwickeln werde. Er gehe davon aus, dass die Staaten weiterhin aus ihrem eigenen Interesse handeln. Dies könne durchaus auch Beschlüsse und Konventionen zu globalen Umweltproblemen betreffen, im Vordergrund stünden aber jeweils die nationalen Interessen. In diesem Zusammenhang glaube er auch nicht, dass das Modell von Montreal unbedingt die richtige Strategie zur Lösung globaler Umweltprobleme darstelle. Hier sei punktuell ein Problem aufgetreten, das durch Zusammenkunft aller Regierungsvertreter vermeintlich punktuell gelöst worden sei. Vielmehr verspreche ein institutioneller Prozess, wie er etwa durch das Muster GATT repräsentiert werde,

größeren Erfolg, sofern hier in einem langfristigen Geschehen komplexe Interessenkonflikte Stück für Stück aufgelöst werden könnten.

Zum Wert der wirtschaftlichen Analyse unter Unsicherheit führt **Prof. Jacoby** aus, dass es zunächst Aufgabe der Ökonomie sei, zu vermitteln, wie groß das Risiko sei, die gegenwärtigen Verhaltens- und Emissionsstrukturen nicht zu verändern. Darüber hinaus diene ökonomische Analyse dazu, für Stimmigkeit der Analyse zu sorgen, insbesondere auf Konflikte und Trade-Offs hinzuweisen. Damit leiste die Ökonomie einen wichtigen Beitrag, die Diskussion zu strukturieren.

Zur Frage, ob CO₂ mittel- und langfristig um 50 % reduzierbar sei in einem wirtschafts- und sozialverträglichem Rahmen, antwortet **Prof. Jacoby**, dies sei für die Annex-B-Staaten des Kyoto-Protokolls wohl mit Ja zu beantworten, bei den Entwicklungsländern könne er sich dies jedoch kaum vorstellen. Auch stelle sich die Frage, was eigentlich sozialverträglich heiße. Als Beispiel führt er an, inwieweit die Gesellschaft bereit sei, zur CO₂-Minderung zusätzliche Wasserkraftwerke oder Kernkraftwerke zu errichten. Auch sei fraglich, wieviel Land für Biomasse-Produktion umgewidmet werden könne und welches Land hierfür einzusetzen sei. All dies werfe komplizierte Fragen der Sozialverträglichkeit auf.

Mit Genehmigung des **Vorsitzenden** wolle er darüber hinaus eine Frage beantworten, die nicht gestellt worden sei. Es sei gesagt worden, dass Klimaschutz ein Jahrhundertproblem sei, bei dem es nicht darauf ankomme, jetzt oder etwas später Emission zu reduzieren. Er weise hier auf die überragende Bedeutung von technischem Wandel und Innovationen hin. Allerdings stelle sich die Frage, wo all dies herkomme. Doch sicherlich aus Privatinvestitionen, die man freilich nur bekomme, wenn sie finanzielle Anreize erhalten. Auch kleine und frühzeitige Anreize können hier viel ausrichten. Wichtig sei ein Signal für Forschung und Entwicklung, das frühzeitig gesetzt werden müsse. **Prof. Jacoby** verweist darauf, dass Forschung und Entwicklung sowie der Aufbau institutioneller Strukturen ein langfristiger Prozess sei, der jetzt begonnen werden müsse.

Der **Vorsitzende** bittet abschließend die Sachverständigen **Dr. Ulrich Cubasch** und **Prof. Dr. Ernst Augstein** um ihre Schlussbemerkungen und bittet insbesondere **Dr. Cubasch**, noch einmal zu der Frage Stellung zu nehmen, ob und inwieweit sich gegenüber dem letzten IPCC-Bericht Änderungen im Erkenntnisstand ergeben hätten.

Hierzu führt der Sachverständige **Dr. Ulrich Cubasch** aus, dass seit dem letzten IPCC-Bericht von 1995 fünf Jahr mehr Messungen vorlägen, insbesondere Datenerhebungen durch Satelliten und Forschungsschiffe. Insgesamt sei die Datenbasis erheblich härter und breiter, vor allem was die ozeanographische Forschung angehe, hier seien beispielsweise zwischenzeitlich Messbojen in den El-Nino-Regionen verankert worden, um die entsprechenden Klimaaktivitäten messen zu können. Auch auf der Modellierungsseite seien zusätzliche Forschungsaktivitäten angestoßen worden. Der damalige IPCC-Bericht habe auf drei Modellen weltweit basiert, heute könne man auf neun Klimamodelle weltweit zurückgreifen. Was die Ergebnisse anbelange, so sei heute eine erhebliche Spezifizierung möglich mit zusätzlicher Datenevidenz. Insgesamt sei, was 1995 eher vermutet wurde, heute zusätzlich gestützt.

Zur Frage einer möglichen Einflussnahme auf den Klimawandel verweist **Dr. Ulrich Cubasch** auf die bereits vorgestellten Szenarien, die etwa bis 2100 eine Bandbreite der globalen Temperaturerhöhung von 1,4 - 5,8 Grad auswiesen. Hier müsse der Pfad der Temperaturentwicklung wohl eng am heutigen Klima orientiert bleiben, um die Adaptionfähigkeit der Systeme nicht zu überfordern. Dies gelte bereits für die Mitteltemperatur und schließe noch nicht Temperaturextremereignisse ein. Zur Frage der Kleinräumigkeit führt der **Sachverständige** aus, dass die Modelle bisher eine Auflösung von 250 – 500 km zugrunde legten. Dies entspräche einer Auflösung der Wettervorhersage vor 10-15 Jahren. Die Modelle jetzt und in Zukunft würden im globalen Maßstab einer Auflösung von 100 – 150 km zugrunde legen. Regionale Modelle würden bis auf 10-20 km heruntergehen können. Insbesondere in Japan und in den USA gebe es Bestrebungen, die von der Computerindustrie unterstützt würden, globale Klimamodelle mit einer Auflösung von 10 km durchzuführen. Hier sei allerdings derzeit die Leistungsfähigkeit der heutigen Rechner noch überfordert. Überdies sei bis jetzt unklar, inwieweit durch die kleinräumige Auflösung der Modelle ein Zugewinn an Präzision der Aussagen gewonnen werden könne. Kritisch sei hier insbe-

sondere die Verfügbarkeit von Daten der Randbedingungen: So sei beispielsweise der Datenbestand über die Vegetation bisher im globalen Maßstab nicht für ein Detail-Raster von 10 km verfügbar. Dieses Problem werde wohl auch in 10 Jahren noch nicht zufriedenstellend gelöst sein. **Dr. Cubasch** geht daher davon aus, dass die Inputdaten auf mittlere Frist gar nicht so präzise sein werden, wie es hochauflösende Modelle erforderten. Er verweise nochmals darauf, dass die Variabilität im kleinen Maßstab erheblich höher sei als bei einer globalen Betrachtung (Klimarauschen). Selbst mit hochauflösenden Modellen werde man daher einen Großteil der Variabilität nicht hinreichend klar erklären können.

Prof. Dr. Ernst Augstein erläutert, dass man vor etwa 10 Jahren davon ausgegangen sei, dass bei der Betrachtung des anthropogenen Klimaeffektes die natürlichen Determinanten des Klimawandels nicht näher betrachtet werden müssten. Vielmehr sei man in einem additiven Modell davon ausgegangen, dass diese unverändert seien und durch menschliche Einflüsse lediglich ergänzt würden. Dies sei aber eine falsche Ansicht. Zwischenzeitlich seien große Anstrengungen unternommen worden, um die natürliche Klimavariabilität zu erforschen. Hierzu sollten einige wenige Punkte zur Illustration genügen. So habe man früher angenommen, dass der Ozean ein träges System mit einer relativ stabilen globalen Zirkulation sei. Inzwischen sei bekannt, dass der Ozean erstens bei weitem nicht so träge sei, sondern relativ schnell reagiere bis hin zu Tiefen von einigen tausend Metern, und dass er überdies nicht nach einem so groben globalen Zirkulationsmuster reagiere, sondern von sehr vielen kleinen Störungen durchzogen wird, die erheblichen Anteil an den meridionalen Stoff- und Wärmetransporten hätten. Die klimatologischen Ansichten über den Ozean hätten sich daher in den letzten Jahren vollständig verändert. Weiterhin habe man vor etwa 10 Jahren gemeint, dass die natürlichen Variationen auch deshalb nicht so sehr ins Gewicht fielen, weil diese sehr langsam abliefen.

Diesbezüglich hätten aber die Messungen an den grönländischen Eiskernen zwischenzeitlich gelehrt, dass in den Kaltezeiten kurzfristig natürliche Variationen mit erheblichen Amplituden (bis zu 10 Grad in wenigen Dekaden) aufgetreten seien. Daraufhin habe sich die Klimaforschung wieder verstärkt mit den natürlichen Ursachen von Klimaänderungen befasst. Denn diese müssten hinreichend vorhanden sein, bevor belastbare quantitative Aussagen zu anthropogenen Einflüssen getroffen

werden könnten. Ferner erlaube die inzwischen erreichte höhere Auflösung der Modellgitter auch die Einschätzung regionaler Unterschiede in den globalen Klimavariationen. Demnach seien bei einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur in Bodennähe in einigen Regionen der Erde durchaus Abkühlungen zu erwarten. Im Vergleich zu dem beachtlichen Erkenntniszuwachs bezüglich natürlicher Klimavorgänge habe man in der letzten Dekade nur wenig Neues über anthropogene Klimaeinflüsse gelernt. An diesem Umstand werde sich auch in Zukunft kaum etwas ändern, ausser dass durch die Erweiterung der Modelle um zusätzliche Prozesse die Störampplituden etwas abgeschwächt werden. Folglich sollten trotz der unsicheren quantitativen aber zuverlässigen qualitativen Modellergebnisse vorsorgende Maßnahmen sofort eingeleitet werden. Diese sollten sich aber weniger auf technisch schwierige und politisch kaum erreichbare Verhinderungsstrategien sondern vielmehr auf die eben von Herrn **Prof. Tol** erwähnten Adaptionbemühungen vor allem zum Schutz besonders gefährdeter Entwicklungs- und Schwellenländer konzentrieren. Dabei seien auch mögliche natürliche Klimaschwankungen ins Auge zu fassen, die ohnehin nicht abgewendet werden könnten. Das Gebot der Stunde sei weniger Klimaänderungen zu verhindern als diese rechtzeitig zu erkennen und mit ihnen zurechtzukommen.

Der **Vorsitzende** bedankt sich bei den Sachverständigen für eine spannende Anhörung. Er wolle sich auch bei der für die Vorbereitung verantwortlichen Arbeitsgruppe sowie dem Sekretariat für die Organisation bedanken. Sein Dank gelte schließlich auch den Technikern und den Dolmetschern für ihre Unterstützung dieser Anhörung.

Die Sitzung wird geschlossen.

Ende der Anhörung 16.40 Uhr.

Kurt-Dieter Grill, MdB

- Vorsitzender -

Index

A

Augstein · 2, 7, 9, 35, 37, 45, 55, 56, 66, 74, 75

B

Berg · 55, 61, 67, 72
Brauksiepe · 34, 41
Brinkmann · 55, 61

C

Cubasch · 2, 9, 10, 11, 23, 34, 35, 36, 37, 43, 53, 55, 56,
57, 62, 63, 65, 66, 67, 74, 75

H

Henne · 48, 66
Hennicke · 33, 42, 48, 66, 71
Hustedt · 36

J

Jacoby · 2, 12, 13, 34, 36, 40, 42, 54, 55, 57, 59, 60, 65,
72, 73, 74
Jochem · 47, 53, 57

K

Klepper · 2, 15, 17, 19, 34, 41, 54, 55, 60, 61, 62, 65, 66,
67, 70, 71

L

Laufs · 35, 37, 48, 67
Loster · 2, 19, 20, 22, 23, 47, 48, 49, 53

M

Matthes · 55

R

Rochlitz · 35, 65

S

Schmitt · 48, 54
Schönwiese · 2, 23, 25, 34, 35, 36, 43, 49, 54, 62, 65, 66,
67, 69, 72

T

Theenhaus · 55
Tol · 2, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 76
Toth · 2, 27, 36, 55, 64, 65, 68

V

Vorsitzender · 7, 9, 12, 19, 23, 33, 37, 44, 45, 47, 48,
50, 53, 55, 56, 57, 62, 64, 67, 73, 74, 76
Voß · 33, 65

W

Wahner · 2, 29, 34, 35, 44, 66, 67
Wodopia · 36

Z

Ziesing · 65