
Entwicklung der wichtigsten IPCC-Kernaussagen

Fortentwicklung der gesicherten Erkenntnisse und Unsicherheiten der wichtigsten Kernaussagen in den seit 1990 veröffentlichten Sachstandsberichten des IPCC

Autoren:

Dipl.-Wi.-Ing. Serafin von Roon

Dipl. Phys. Roger Corradini

Klimaschutz gilt zunehmend als eine der zentralen gesellschaftlichen Aufgaben. Dies zeigte sich einmal mehr an den Reaktionen auf die Veröffentlichung des vierten Sachstandsberichtes des International Panel of Climate Change (IPCC) im Frühjahr 2007 /1/.

An der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE) wurden die wichtigsten Aussagen zum wissenschaftlichen Verständnis des Klimawandels für Akteure der Energiewirtschaft in einer Kurzstudie zusammengefasst /2/. In dieser Studie wurden die Erkenntnisse der Sachstandsbereiche ohne eigene Wertung zusammengefasst. Hierbei wurde insbesondere die Entwicklung des Kenntnisstandes von Sachstandsbericht zu Sachstandsbericht skizziert.

Die in der Bewertung des Klimawandels in den weitesten Teilen der Gesellschaft anerkannte und somit maßgebliche Institution ist das IPCC. Das IPCC wurde 1988 durch die Sonderorganisation der Vereinten Nationen für Meteorologie (World Meteorological Organization, WMO) und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Environmental Programme, UNEP) gegründet und erhielt 2007 gemeinsam mit Al Gore den Friedensnobelpreis. Ziel des IPCC ist die Beurteilung wissenschaftlicher, technischer und sozioökonomischer Informationen, die für das Verständnis des Klimawandels und dessen Einfluss sowie zur Bestimmung von Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen relevant sind.

Hauptarbeiten des IPCC sind die Sachstandsberichte (im Englischen: Assessment Reports; im Folgenden kurz AR), die wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Informationen über den Klimawandel, dessen Ursachen und mögliche Auswirkungen sowie über Maßnahmen zur Bewältigung des Klimawandels bereitstellen. Es wurden in den Jahren 1990, 1995, 2001 und 2007 jeweils ein AR der Arbeitsgruppe I (wissenschaftliche Basis), der Arbeitsgruppe II (Folgen des Klimawandels) und der Arbeitsgruppe III (Möglichkeiten zur Eindämmung des Klimawandels) publiziert. Der Schwerpunkt der FfE-Kurzstudie wurde auf die Arbeiten der ersten Arbeitsgruppe gelegt.

Treiber des Klimawandels

Eine der Schlüsselfragen in der Auseinandersetzung mit dem Klimawandel ist der anthropogene Anteil des bereits stattfindenden Klimawandels. Die Veränderung der natürlichen und anthropogenen Treiber seit der vorindustriellen Zeit wurden in den AR dargestellt und ihr jeweils erwärmender oder Temperatur senkender Effekt quantifiziert. In der FfE Ausarbeitung wurden die physikalische Wirkweisen dieser Treiber kurz skizziert, ihre Bedeutung für den Klimawandel herausgearbeitet sowie die Entwicklung des Wissenstandes seit dem 1. AR von 1990 aufgezeigt.

Der Strahlungshaushalt der Erdatmosphäre wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Die Veränderung des Strahlungshaushalts, die ein einzelner Faktor verursacht, wird Strahlungsantrieb genannt und hat die Einheit Watt pro Quadratmeter (W/m^2). Die durch einen Treiber ausgelöste Klimaänderung wird als positiver Strahlungsantrieb (Erwärmung) oder negativer Strahlungsantrieb (Abkühlung) bezeichnet. Einen positiven Strahlungsantrieb kann z. B. die zunehmende Konzentration langlebiger Treibhausgase hervorrufen. Ein negativer Strahlungsantrieb resultiert beispielsweise aus der Zunahme von Aerosolen in der Atmosphäre, die zu einer Abkühlung der bodennahen Luftschicht führen.

Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen kann der veränderte Strahlungsantrieb eines Einflussfaktors nicht unmittelbar in eine globale Temperaturerhöhung umgerechnet werden. Das menschliche Handeln seit 1750 bis heute führte netto zu einer Erhöhung des Strahlungsantriebs um $1,6 \text{ W/m}^2$. Hinzu kommt eine Erhöhung des Strahlungsantriebs der solaren Einstrahlung um $0,12 \text{ W/m}^2$.

Die Zunahme an **atmosphärischem CO_2** seit der vorindustriellen Zeit verursacht einen zusätzlichen Strahlungsantrieb von $+1,66 \text{ W/m}^2$ und übersteigt somit die Wirkung aller anderen Treiber. Bei einer Verdopplung der CO_2 -Konzentration wird eine Erwärmung um 3 K erwartet. Der im 4. AR ausgewiesene Strahlungsantrieb des CO_2 -Anstiegs ist der bisher höchste Wert. Interessant ist, dass der im 3. AR genannte Wert $1,46 \text{ W/m}^2$ unter den Angaben des 2. AR ($1,56 \text{ W/m}^2$) des 1. AR ($1,5 \text{ W/m}^2$) lag.

Neben CO_2 stellen Methan, Halogenkohlenwasserstoffe und Lachgas weitere wichtige **langlebige Treibhausgase** dar. Die Emissionen dieser Gase seit der vorindustriellen Zeit verursachen einen zusätzlichen Strahlungsantrieb von $+0,98 \text{ W/m}^2$ und entspricht somit ziemlich genau der Angabe im 3. AR ($+0,97 \text{ W/m}^2$). Der Strahlungsantrieb der weiteren langlebigen Treibhausgase ist somit kontinuierlich gestiegen (2. AR: $+0,86 \text{ W/m}^2$ und 1. AR: $+0,81 \text{ W/m}^2$).

Auch Ozon ist ein stark wirksames Treibhausgas und die Veränderung der **Ozonkonzentration** in der Atmosphäre bedingt einen Netto-Strahlungsantrieb von $+0,3 \text{ W/m}^2$. Die Ozonanreicherung in der Troposphäre führt zu einer Erwärmung ($+0,35 \text{ W/m}^2$), die lediglich leicht vom Abbau des stratosphärischen Ozons abgeschwächt wird ($-0,05 \text{ W/m}^2$). Der 4. AR bestätigt somit in etwa die Angaben des 3. AR mit $+0,32 \text{ W/m}^2$ für die Ozonzunahme in der Troposphäre und $-0,15 \text{ W/m}^2$ für die Ozonabnahme in der Stratosphäre. Die Wirkung des Ozons auf den Strahlungshaushalt wurde erst seit dem 2. AR thematisiert und war zu diesem Zeitpunkt noch weitgehend unklar. Es wurde ein Schätzwert von $+0,4 \text{ W/m}^2$ angegeben.

Durch **Methan verursachter, stratosphärischer Wasserdampf** hat nur einen geringen Strahlungsantrieb von $+0,07 \text{ W/m}^2$. Der Grad des wissenschaftlichen Verständ-

nisses wird als niedrig angegeben. Viele Studien im 3. AR verwiesen auf einen Anstieg des stratosphärischen Wasserdampfs und den damit verbundenen höheren Strahlungsantrieb auf die Atmosphäre. Es wurde jedoch der Strahlungsantrieb dieses Effekts nicht quantifiziert. Sowohl im 1. AR als auch im 2. AR wird der stratosphärische Wasserdampf als Treibhausgas bezeichnet, jedoch lagen keine Aussagen über die Höhe des Strahlungseinflusses oder fundierte Kenntnisse über die physikalischen Mechanismen vor.

Ein veränderter Reflektionsgrad der Oberfläche (**Albedo**) kann sowohl wärmende als auch kühlende Wirkung haben. Die veränderte Landnutzung schwächt den anthropogenen Temperaturanstieg mit einem Strahlungsantrieb von $-0,2 \text{ W/m}^2$ ab, wohingegen Kohlenstoffablagerungen auf Schneeflächen einen positiven Strahlungsantrieb von $+0,1 \text{ W/m}^2$ aufweisen. Obwohl sich die Kenntnisse im 4. AR verbessert haben, wird das wissenschaftliche Verständnis immer noch als niedrig eingestuft. Im 3. AR wurde der Strahlungsantrieb durch eine Veränderung der Oberflächen-Albedo von $-0,2 \pm 0,2 \text{ W/m}^2$ angegeben. Zum Zeitpunkt des 1. AR und 2. AR war eine belastbare, quantitative Aussage über den Albedo-Effekt noch nicht möglich.

Die anthropogenen **Aerosolemissionen** haben einen direkten und indirekten Effekt auf das Klima. Der **direkte Effekt** beschreibt die Eigenschaft von Aerosolen, sowohl kurz- als auch langwellige Strahlung zu absorbieren oder zu reflektieren. Grundsätzlich verursachen reflektierende Aerosole eine Verringerung des Energieeintrags in die Atmosphäre, wohingegen Aerosole, die aufgrund ihrer optischen Eigenschaften Strahlungsenergie absorbieren, der Atmosphäre mehr Energie zuführen. Aerosole können auch als Kondensationskeime fungieren und zu einer erhöhten Wolkenbildung und somit zu einer Abkühlung beitragen. Dies wird als **indirekter Effekt** bezeichnet.

Den Aerosolemissionen wird in Summe ein kühlender Effekt zugeschrieben, wovon der Strahlungsantrieb des direkten Effekt $-0,5 \text{ W/m}^2 \pm 0,2 \text{ W/m}^2$ und der des indirekten Effektes $-0,7 \text{ W/m}^2$ mit einer Unsicherheitsspannweite von $-0,3 \text{ W/m}^2$ bis $-1,8 \text{ W/m}^2$ beträgt. Im 1. AR wurde noch kein Strahlungsantrieb einzelner Aerosolfractionen angegeben. Im 2. AR bis 4. AR hat sich der angegebene Strahlungsantrieb von $-0,5 \text{ W/m}^2$ für den direkten Effekt nicht geändert. Jedoch wird im 4. AR zum ersten Mal die gesamte Unsicherheitsspannweite des direkten Effektes ausgewiesen. Bis dato wurden lediglich die Spannweiten der Einzeleffekte, wie z. B. von Sulfaten beziffert. Für den indirekten Effekt wurde im 2. AR und 3. AR nur die Unsicherheitsspannweite ohne besten Schätzwert angegeben. Diese ist im 3. AR (0 bis $-2,0 \text{ W/m}^2$) im Vergleich zum 2. AR (0 bis $-1,5 \text{ W/m}^2$) sogar angestiegen.

Der **Flugverkehr** beeinflusst neben den CO_2 -Emissionen durch Kondensstreifen, Veränderung der Zirruswolken und Aerosolemissionen das Klima. Den Kondensstreifen wird ein Strahlungsantrieb von $+0,01 \text{ W/m}^2$ zugerechnet und deren Klimawirkung ist somit etwas geringer als sie im 3. AR ausgewiesen wurde ($+0,02 \text{ W/m}^2$). Der Grad des wissenschaftlichen Verständnisses über die Wirkung von Kondensstreifen ist niedrig.

Der Strahlungsantrieb aufgrund einer stärkeren **Solarstrahlung** seit 1750 beträgt $+0,12 \text{ W/m}^2$. Im 3. AR wurde noch von einem Strahlungsantrieb von $+0,3 \text{ W/m}^2$ ausgegangen. Es wird im 4. AR explizit darauf hingewiesen, dass die globale Temperaturerhöhung seit 1970 sich nicht mit der Schwankung der Solarstrahlung erklären lässt. In der Klimadiskussion wird zuweilen auch der Einfluss der solaren

Aktivitäten auf den Atmosphäreintrag **kosmischer Strahlung** genannt, die aus Protonen, Heliumkernen sowie schwereren Atomkernen besteht. Es wird eine Rückwirkung dieser Strahlung auf die Wolkenbildung und somit auf das Klima vermutet. Der Grad des wissenschaftlichen Verständnisses ist jedoch *sehr niedrig*.

In der **Abbildung** ist die Entwicklung des Strahlungsantriebs für die wichtigsten Einflussgrößen vom zweiten bis zum vierten Assessment Report zusammenfassend dargestellt. Im ersten AR wurde der Strahlungsantrieb nur für wenige Einflussgrößen quantifiziert und fehlt daher in der Darstellung.

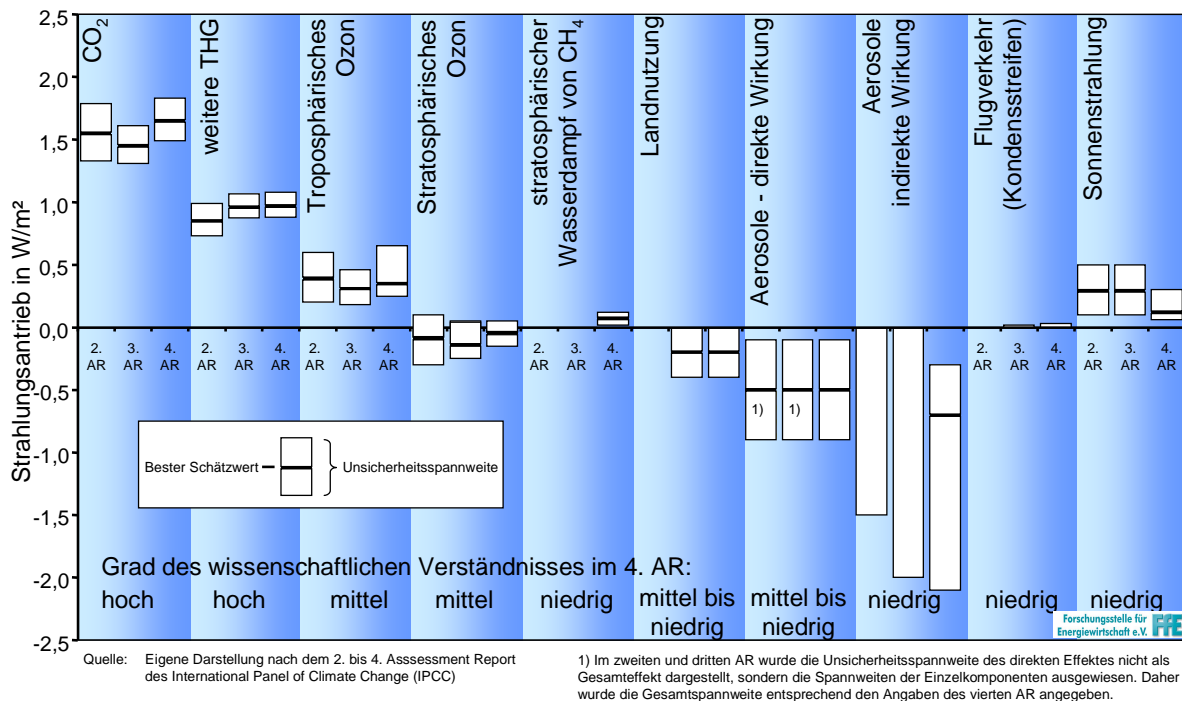


Abbildung: *Entwicklung des Strahlungsantriebs und der Unsicherheitsspannweite wichtiger Einflussgrößen des Klimawandels vom 2. AR bis zum 4. AR*

Wie in der Abbildung zu erkennen ist, haben die CO₂-Emissionen zwar den höchsten positiven Strahlungsantrieb, dennoch existieren viele weitere Einflussgrößen mit teilweise nicht unerheblichem Einfluss. Auffällig ist, dass seit dem 2. AR bei keinen der dargestellten Einflussgrößen erhebliche Sprünge bei der Höhe des zugerechneten Strahlungsantriebs und bei den Spannweiten festzustellen ist. Einige Einflussgrößen, wie z. B. durch Methan verursachter Wasserdampf sind jedoch hinzugekommen.

Weitere Ergebnisse der Arbeitsgruppe I

In der Kurzstudie der FfE wird die Entwicklung weiterer wichtiger Themen der Arbeitsgruppe in den Statusberichten des IPCC zusammengefasst. Hierzu zählen die Beobachtungen des aktuellen Klimawandels, die Einordnung des aktuellen Klimawandels in die Klimageschichte, Szenarien zum zukünftigen Klimawandel sowie die Erklärung und Zuschreibung des beobachteten Klimawandels. Beispielhaft wird im Folgenden auf die Einordnung des aktuellen Klimawandels in die Klimageschichte eingegangen.

Unter dem Stichwort „Paläoklima“ wird die historische Entwicklung des Klimas über lange Zeiträume von bis zu Millionen von Jahren untersucht. Die Rekonstruktion der Klimageschichte ist entscheidend für die Bewertung der Außergewöhnlichkeit und Drastik des aktuellen und erwarteten Temperaturanstiegs. Daher führten die vorgestellten Temperaturverläufe häufig zu heftigen Debatten.

Laut Aussage des 4. AR unterstützen paläoklimatische Informationen die Interpretation, dass die Erwärmung der letzten 50 Jahre ungewöhnlich für mindestens die letzten 1.300 Jahre ist. Die Polregionen waren das letzte Mal vor 125.000 Jahre signifikant wärmer als gegenwärtig. Die mittlere Temperatur der Nordhalbkugel während der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts war *sehr wahrscheinlich* höher als irgendeine andere 50-jährige Periode in den letzten 500 Jahren und *wahrscheinlich* die höchste in den letzten 1.300 Jahren.

Im 4. AR wird der paläoklimatischen Betrachtung ein eigenes Kapitel gewidmet. In den Assessment Reports 1 bis 3 war dieses Thema lediglich ein Unterkapitel von „Observed Climate Variability and Change“. In der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger des 4. AR nimmt das Thema nur wenig Platz ein, wohingegen es im 3. AR noch das einleitende Kapitel der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger war. Im 3. AR wurde die so genannte Hockeyschläger-Kurve der Forschungsgruppe von Michael Mann präsentiert. Diese bildete den Temperaturverlauf auf der Nordhalbkugel seit 1000 n. Chr. ab und zeigte einen ungewöhnlich hohen Temperaturanstieg in den letzten 100 Jahren.

Dieser von Mann et al. rekonstruierte Temperaturverlauf war der Auslöser heftiger Debatten, da den Forschern systematische statistische Fehler vorgeworfen wurden. Es kam soweit, dass Michael Mann im Juli 2006 unter Eid vor dem amerikanischen Repräsentantenhaus aussagte. Unabhängig von möglichen Verfahrensfehlern wurde die grundsätzliche Form der Kurve in neueren Studien mehrfach bestätigt, wie auch der auf Basis vieler Studien rekonstruierte Temperaturverlauf seit 700 n. Chr. im 4. AR zeigt. Mehrere aktuelle Studien deuten an, dass auf der Nordhalbkugel zumindest eine höhere Variabilität herrschte als noch im 3. AR angenommen wurde. Insbesondere gab es wohl kältere Phasen vom 12. bis 14., sowie im 17. und 19. Jahrhundert.

Der 2. AR veröffentlichte lediglich eine Rekonstruktion der Temperaturen ab 1400 n. Chr., die jedoch noch nicht die typische Form eines Hockeyschlägers aufwies. Basis der dazugehörigen Berechnungen waren lediglich 16 Proxydatensätze.

Im 1. AR wurde das Klima der letzten fünf Millionen Jahre beschrieben. In dem Diagramm zu dem Temperaturverlauf der letzten 1.000 Jahre waren die Temperaturen der mittelalterlichen Warmperiode höher als zum Zeitpunkt des 1. AR.

Die Paläoklimatische Betrachtung des 3. AR grenzte sich somit deutlich von der Darstellung im 1. AR und 2. AR ab. Der 3. AR zeigte den Temperaturanstieg seit der vorindustriellen Zeit als außergewöhnlich hoch und schnell.

Fazit

Der Stellenwert der Klimadebatte in der öffentlichen Diskussion veränderte sich seit der Veröffentlichung des 1. AR 1990 teilweise erheblich. Des Weiteren ändert sich die Auswahl der Themen, die im Fokus der Diskussion stehen.

Im 1. AR war die Debatte vorrangig durch die Tatsache geprägt, dass es zu einem durch Menschen verursachten Klimawandel kommen kann. Im 2. AR wurde den Szenarien eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt. Der zu erwartende Meeresspiegelanstieg war vielfach dominant bei möglichen Schadensdiskussionen.

Die Hockeyschläger-Kurve war häufig diskutierter Bestandteil des 3. AR. Zunächst einmal diente sie als Beleg dafür, dass der seit der vorindustriellen Zeit zu beobachtende Temperaturanstieg im historischen Vergleich außergewöhnlich schnell und hoch ist. Nachdem die von Mann et al. angewendete Methodik kritisiert wurde, nutzten Skeptiker die hierum geführte Diskussion dazu, den anthropogenen Klimawandel grundsätzlich in Frage zu stellen.

Der 4. AR lässt sich in drei Kernaussagen zusammenfassen.

- (1) Der Mensch ist hauptsächlicher Verursacher der globalen Erwärmung.
- (2) Ein ungebremster Klimawandel ist gefährlich und verursacht hohe Kosten.
- (3) Ambitionierter Klimaschutz ist machbar und bezahlbar.

Ein abschließendes Urteil, welche Themen die Debatte im Umfeld des 4. AR dominieren, ist noch nicht möglich. Auffällig ist jedoch, dass ein anthropogener Klimawandel in der Gesellschaft wohl als Tatsache angesehen wird. Die aktuellen Diskussionen beschäftigen sich daher besonders mit möglichen Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels. Die Erkenntnisse aus den Sachstandsberichten des IPCC und deren öffentliche Diskussion und Umsetzung in politische Maßnahmen sind somit im zunehmenden Maße für die Akteure der Energiewirtschaft von großer Bedeutung.

Die im Auftrag der E.ON Energie AG von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft erstellte Kurzstudie kann in ihrem vollen Umfang auf der Internetseite der FfE (www.ffe.de) herunter geladen werden.

Quellen

- /1/ IPCC: 1. bis 4. Assessment Report (1990, 1995, 2001, 2007); www.ipcc.ch
- /2/ von Roon, S.; Baitsch, M.; Corradini, R.; Krall, S.: *Fakten und Trends zur Klimadebatte - Zusammenfassung der Assessment Reports des International Panel of Climate Change*. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2007