

Anthropogen verursachte globale Klimaveränderungen und Schweizer Wald

Von *Martin Hostettler*

FDK: 111.83 : 181 : 2 : 425

1. Einleitung

Der anhaltende Anstieg der atmosphärischen Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan, Distickstoffoxid und der Chlorfluorkohlenwasserstoffe wird nach Aussage der Klimaforscher durch die Verstärkung des natürlich existierenden und lebenswichtigen Treibhauseffektes eine nachhaltige Veränderung des Weltklimas bewirken. Dieser verstärkte Treibhauseffekt wird laut Klimaforschung eine durchschnittliche Temperaturveränderung in der unteren Atmosphäre zur Folge haben, welche grösser sein wird als die Temperaturveränderungen der letzten 10 000 Jahre.

Die nachfolgenden Ausführungen geben eine knappe Übersicht über die erwarteten globalen Klimaveränderungen, über die ökologischen Auswirkungen von Klimaveränderungen auf den Wald und über die Gefährdung des Schweizer Waldes. Zum Schluss werden einige Überlegungen zu den Konsequenzen für die schweizerische Forstpolitik und Waldbewirtschaftung angestellt.

2. Zukünftige globale Klimaveränderungen

2.1 Klimaprognosemethoden

Bei der Abschätzung von Klimaveränderungen stehen die folgenden Methoden im Vordergrund:

- Dreidimensionale Generelle Zirkulationsmodelle (GCM), welche atmosphärische Treibhausgaskonzentrationen und Klimaparameter unter Einbezug von Ozeanen und Biosphäre modellieren (*Mitchell 1988*).
- Paläoklimatologie, welche Treibhausgaskonzentrationen und Klimaveränderungen der Vergangenheit erforscht (*Lorius et al. 1990*).

- Satelliten, welche seit ungefähr 10 Jahren die Temperaturverteilung der Erde und weitere atmosphärenphysikalische Grössen erheben (*Spencer und Christy 1990*).

2.2 Zuverlässigkeit der Klimaprognosen

Die Abschätzung der zu erwartenden Klimaveränderungen (Veränderung von Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Bodenfeuchtigkeit usw.) erweist sich als schwierig, es dürfte sich um eines der komplexesten Umweltprobleme handeln. Zwar wird die Existenz eines Treibhauseffektes von niemandem bestritten. Hingegen werden die Auswirkungen der Zunahme der Treibhausgase unterschiedlich beurteilt, weil unter anderem die Rückkoppelungsmechanismen, welche einen bedeutenden Anteil am Gesamteffekt haben, umstritten sind (*Lashof 1989*). Wichtige Rückkopplungen existieren bei globalen Veränderungen von Luftfeuchtigkeit, Albedo und Bewölkung. Im speziellen wird die zusätzliche, durch die höhere Luftfeuchtigkeit verursachte Erwärmung der Erde höchst unterschiedlich eingeschätzt (*Rind et al. 1991*). Zur Verbesserung der Klimaprognosen sind in der Forschung noch wesentliche Anstrengungen notwendig. Insbesondere bestehen in den folgenden Bereichen Unsicherheiten (*Houghton et al. 1990*):

- Quellen und Senken der Treibhausgase: Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Treibhausgaskonzentrationen (*Bolin 1986*);
- Bewölkung: Unsicherheit bezüglich des Ausmasses von Klimaveränderungen (*Ramanathan 1988*);
- Ozeanzirkulation und physikalische, chemische und biologische Wechselwirkungen Atmosphäre-Ozean: Unsicherheiten bezüglich dem zeitlichen und geographischen Eintreffen von Klimaveränderungen (*Mikolajewicz et al. 1990, Washington und Meehl 1989*).
- Polare Eisdecke: Unsicherheit bezüglich des zukünftigen Anstieges der Meereshöhe.

Es ist nicht zu erwarten, dass in den nächsten Jahren die Klimaprognosen entscheidend verbessert werden können. Die oben aufgeführten bedeutenden Unsicherheiten sind bedingt durch grundlegende physikalische und technische Probleme (unumgängliche Parameterisierungen, ungenügende Computerleistungen, *Schneider 1989*). Dennoch darf in den nächsten Jahren eine Vielzahl von interessanten Daten und Forschungsergebnissen erwartet werden (International Geosphere-Biosphere Program).

2.3 Grösse der Klimaveränderungen

Zukünftige Klimaveränderungen werden sich nicht nur auf die Temperatur auswirken. Niederschlag und damit Luft- und Bodenfeuchtigkeit werden ebenfalls Änderungen unterworfen sein. Es können auch Änderungen in der Verteilung von Ereignissen und nicht zuletzt bei Extremwerten auftreten (Rind et al. 1989), als Beispiel seien häufigere und stärkere Stürme genannt (Emanuel 1987). Es muss somit mit einer grundlegenden Änderung des Klimas gerechnet werden, was heisst, dass Risikobeurteilungen, welche einzig auf Temperaturprognosen basieren, unvollständig sind.

Die für die Umweltpolitik massgebende Klimaprognose stammt von einem internationalen, wissenschaftlich hochqualifizierten Gremium, dem Intergovernmental Panel on Climatic Change IPCC. Die quantitative Abschätzung der Klimaveränderungen basiert beim IPCC auf den Ergebnissen der wichtigsten GCM. Die bestehenden, verschieden ausgestalteten GCM zeigen eine gute Übereinstimmung bezüglich der globalen Voraussagen. Kontrovers sind hingegen die regionalen Prognosen (Tricot und Berger 1987). So kann auch eine Abkühlung Westeuropas nicht ausgeschlossen werden, weil sich der Golfstrom abschwächen oder verschieben könnte (Broecker 1987).

Laut IPCC (Houghton et al. 1990) wird im Jahr 2025 die Durchschnittstemperatur der Erde 1 Grad, im Jahr 2100 3 Grad über dem heutigen Wert liegen, der Unsicherheitsbereich beträgt 0,2 bis 0,5 Grad Erwärmung pro Jahrzehnt. Die Temperaturerhöhung wie auch die Veränderung der weiteren Klimafaktoren wird regional unterschiedlich ausfallen. Während in den tropischen Breiten nur mit einer geringen Erwärmung der Atmosphäre gerechnet wird, dürfte die Erwärmung an den Polen markanter ausfallen. Gegenüber dem Sommer ist im Winter mit einer stärkeren Erwärmung zu rechnen.

2.4 Bisherige Klimaveränderungen

In den letzten hundert Jahren hat die durchschnittliche Temperatur der Erde um ungefähr ein halbes Grad zugenommen; diese Zunahme liegt jedoch noch im natürlichen Schwankungsbereich des Klimas. Auch alle anderen Klimagrössen haben sich bisher nicht unnatürlich stark verändert, das heisst, es liegt noch keine empirische Bestätigung der befürchteten Klimaveränderungen vor (Houghton et al. 1990).

Gerade wegen der beträchtlichen natürlichen Variabilität des Klimas ist frühestens in 10 bis 20 Jahren mit einer Bestätigung der Klimavoraussagen zu rechnen; dabei wird man sich auf Temperaturveränderungen aber auch auf weitere klimatische Veränderungen abstützen müssen.

3. Auswirkungen auf den Wald

3.1 Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre

Der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Luft hat direkte Folgen auf das Pflanzenwachstum. Weil der Pflanze mehr Kohlenstoff zur Assimilation zur Verfügung steht, wird in der Literatur teilweise von einem Düngungseffekt gesprochen (ausführliches Literaturverzeichnis bei *Idso* 1989). Tatsächlich liegen viele Forschungsergebnisse vor, welche unter Laborbedingungen Produktionssteigerungen bei höheren CO₂-Konzentrationen nachweisen. Ob diese Wachstumssteigerung auch in der Natur stattfindet, ist nach wie vor Forschungsgegenstand. Einige Forschungsgruppen haben zwar Anhaltspunkte für eine Wachstumsstimulierung der Vegetation gefunden (z. B. *Hari* und *Arovaara* 1988, *Kohlmaier et al.* 1989). Eindeutige Beweise für eine im Wald stattfindende CO₂-Düngung konnten aber bisher nicht erbracht werden, obschon die Zunahme der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung bereits 25% beträgt. Eine eingehendere Beurteilung der forstlichen Auswirkungen dieses Düngungseffektes würde den Rahmen dieses Artikels sprengen, umso mehr als zum heutigen Zeitpunkt noch keine abschliessende Beurteilung möglich ist (*Solomon* 1986, *Shugart et al.* 1986).

3.2 Veränderung des Klimas

Die Beurteilung der Auswirkungen von Klimaveränderungen auf den Wald ist aus verschiedener Sicht möglich. Einerseits liefert die paläoökologische Forschung sehr viele Hinweise, wie sich die natürlichen Klimaveränderungen in der Vergangenheit auf den Wald ausgewirkt haben (*COHMAP* 1988). Andererseits ist es heute möglich, mit Hilfe von Computermodellen die Entwicklung von Wäldern unter gegebenen klimatischen Bedingungen zu simulieren (*Shugart* 1984). Auch für die Schweiz wurden solche Modellrechnungen durchgeführt (*Kienast* und *Kuhn* 1989).

Eine Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von Klimaveränderungen einzig auf Grund von Temperaturveränderungen ist unvollständig. Vielmehr müssen die verschiedensten Aspekte bei der Beurteilung miteinbezogen werden (*Prentice* 1986, *Ritchie* 1986).

Generell steht heute fest, dass bereits sehr kleine Klimaveränderungen (zum Beispiel ± 1 Grad Temperaturänderung) beachtliche Auswirkungen auf einzelne Baumarten und Waldgesellschaften haben können (siehe zum Beispiel *Ball* 1986, *Davis* 1986, *Davis* und *Botkin* 1985, *Hamburg* und *Cogbill* 1988). Die Auswirkungen können jedoch nicht in allgemeiner Form angegeben werden, weil sie sich zum Beispiel bei den einzelnen Baumarten zeit-

lich unterschiedlich rasch manifestieren. Das unterschiedliche Anpassungsvermögen der Baumarten an veränderte Umweltbedingungen hängt mit den spezifischen Eigenschaften (Lebensdauer, geographisches Verbreitungsgebiet, genetische Variation, Konkurrenzfähigkeit, Fortpflanzungsmechanismus) jeder Art und jedes Standortes zusammen (*Brubaker* 1986). Es muss bei Klimaveränderungen auch von einer vielfältigen Beeinflussung des ganzen Ökosystems Wald ausgegangen werden. Ökologische Faktoren, welche beeinflusst werden, sind zum Beispiel Bodenbildung (*Pennington* 1986), interspezifische Konkurrenz (*Peters und Darling* 1985), Verfügbarkeit der Nährstoffe (*Pastor und Post* 1988), Häufigkeit von Waldbränden und Windwürfen (*Overpeck et al.* 1990), erhöhte Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen (*Fosberg* 1989).

Obschon aus diesen Ausführungen ersichtlich ist, dass es sich beim Ökosystem Wald um kein einfaches Wechselgefüge handelt und somit Verallgemeinerungen bezüglich den Auswirkungen von Klimaveränderungen vermieden werden müssen, sollen dennoch einige allgemeine Hinweise erlaubt sein:

- Mit der vermuteten Zunahme von Klimaextremen ist ein Ansteigen der allgemeinen Produktionsrisiken verbunden.
- Eine Temperaturerhöhung von 1 Grad bedeutet generell eine Verschiebung der Vegetationszonen um 100 bis 150 km polwärts bzw. eine Verschiebung der Höhenlage um 150 bis 200 m.
- Die Geschwindigkeit der prognostizierten Klimaveränderungen übersteigt die Wanderungsgeschwindigkeit unserer Schlusswaldbaumarten mindestens um einen Faktor 5 bis 15.
- Die prognostizierten Klimaveränderungen brächten schwerwiegende Veränderungen für unser forstliches Erbgut und für unsere Waldgesellschaften. Je nach Ausmass der Klimaveränderung wäre mit dem Aussterben von Pflanzenarten zu rechnen (*Peters und Darling* 1985), das Erbgut der noch vorhandenen Waldbäume würde drastisch verkleinert (*Davis* 1989), und es wären völlig neue Waldgesellschaften zu erwarten.

Negative Folgen der raschen Klimaveränderung können in forstlich bewirtschafteten Regionen allenfalls mit waldbaulichen Massnahmen gemildert werden. In extensiv bewirtschafteten Regionen sowie in Schutzgebieten muss hingegen mit dem Aussterben von Arten gerechnet werden (*Davis* 1989). Die waldbaulichen Entscheide und Eingriffe (Baumartenwahl, Verjüngungsart und -technik, Umtriebszeiten usw.) könnten kaum noch in der heutigen Art und Weise vollzogen werden. Sicher müssten unser waldbauliches Verständnis und unsere waldbaulichen Zielsetzungen bei markanten Klimaveränderungen angepasst werden.

4. Gefährdung des Waldes

Wie gross die Eintreffenswahrscheinlichkeit der IPCC-Prognose und damit die Gefährdung des Waldes tatsächlich ist, kann nur schwer abgeschätzt werden. Ebenfalls beschränkt sich die IPCC-Prognose auf die globalen Klimaveränderungen. Die obigen Ausführungen lassen den Schluss zu, dass heutzutage einigermaßen verlässliche Aussagen über regionale Klimaveränderungen unmöglich sind. Damit können die Klimaprognosen des IPCC nur sehr beschränkt in der ökologischen und forstlichen Praxis verwendet werden (*Pitman et al.* 1990). Hingegen weist die IPCC-Prognose auf eine generelle, langfristige und massive Gefährdung des Schweizer Waldes hin. Auch zukünftige Klimaveränderungen, welche im untersten Bereich der Prognosen liegen, werden substantielle Änderungen in der Waldbewirtschaftung bewirken.

5. Konsequenzen für die schweizerische Waldwirtschaft

5.1 Konsequenzen für die Forstpolitik

Forstpolitisch gilt es, die Gefährdung des Schweizer Waldes ernst zu nehmen und Massnahmen in die Wege zu leiten. Dazu die folgenden Ideen:

In Klimaszenarien sollten mit unterschiedlichen Temperatur- (zum Beispiel -1 , $+1$, $+3$, $+5$ Grad) und Niederschlagswerten (zum Beispiel -20% , $+20\%$) fürs Jahr 2100 die erwarteten positiven und negativen Folgen für den Schweizer Wald abgeschätzt werden (zum Beispiel Verbreitung und Zusammensetzung der Waldgesellschaften, forstliche Nutzung, Funktionstauglichkeit der Wälder). Auf Grund dieser Ergebnisse kann man daraufhin für die verschiedenen Szenarien Strategien der Walderhaltung, der waldbaulichen Bewirtschaftung und des Naturschutzes ausarbeiten (Peters 1990) und vorbehaltene Entschlüsse treffen. Dabei gälte es, die notwendigen naturschützerischen, waldbaulichen und forsttechnischen Massnahmen auf ihre ökologische und ökonomische Machbarkeit hin zu untersuchen. Eventuell könnten bereits gewisse Vorkehrungen, wie die Evaluation von fremdländischen Baumarten, getroffen werden. Zur Verbesserung der Aussagekraft der Szenarien und Strategien ist vermutlich noch vermehrt Grundlagenforschung erforderlich.

Weiter sollte eine Expertengruppe konstituiert werden, welche in der Lage ist, die Waldgefährdung zu analysieren. Auf Grund dieser Risikobeurteilungen sollte die gleiche Gruppe praxistaugliche Empfehlungen und Richtlinien für die schweizerische Waldwirtschaft abgeben. Eine solche Gruppe sollte unseres Erachtens demnächst aufgebaut werden, sie sollte unbedingt

interdisziplinär zusammengesetzt und auf die Praxis (Ökologie, Waldwirtschaft) ausgerichtet sein. Eine gewisse Ausdauer wird erforderlich sein, handelt es sich doch beim Treibhauseffekt um ein langfristiges, kaum wahrnehmbares Umweltproblem.

Damit die langfristigen, externen Kosten internalisiert werden, ist schliesslich zu prüfen, ob und wie bereits heute Lenkungsabgaben auf Treibhausgasemissionen für die spätere Walderhaltung zur Seite gestellt werden können.

5.2 Konsequenzen für die Waldbewirtschaftung

Zum heutigen Zeitpunkt ist es nicht möglich, der forstlichen Praxis viel mehr als einige allgemein gültige und langgelehrte Empfehlungen abzugeben. Bewirtschaftungsmassnahmen, welche weiter gehen als die hier aufgeführten Empfehlungen, müssen als spekulativ und teilweise sogar risikofördernd bezeichnet werden. Für eine grundlegende Änderung des schweizerischen Waldbaues sind zum heutigen Zeitpunkt keine Hinweise zu finden. Im Sinne der langfristigen Walderhaltung gilt es jedoch, die aufgezeigte Gefährdung sehr ernst zu nehmen, Bedrohungen müssen frühzeitig erkannt werden.

Unseres Erachtens ist es ebenfalls falsch, grossangelegte Aufforstungsprogramme in der Schweiz zwecks biologischer Fixierung von Kohlenstoff durchzuführen. Bereits mit einer relativ bescheidenen Reduktion des Verbrauchs an fossilen Brennstoffen ist weit mehr zu erreichen als mit grossflächigen kulturlandschaftsschädigenden Aufforstungen.

Es können also ausschliesslich nur forstliche Massnahmen empfohlen werden, welche generell die langfristige Stabilität des Waldes erhöhen und damit die Risiken minimieren. Konkret stellt sich dabei die Frage, wie dieses Prinzip der Risikoverminderung in Zukunft besser in die forstliche Praxis hineingetragen werden kann. Die wichtigen Massnahmen, welche zur Risikoverminderung beitragen, sind insbesondere die standortsgerechte Baumartenwahl, die Berücksichtigung der Provenienzen, der Aufbau von Mischbeständen und eine ausreichende Stabilitätspflege. In diesem Zusammenhang ist schliesslich die Rolle, welche die Fichte heute im schweizerischen Mittelland spielt, unbedingt zu überdenken.

Ebenfalls sind flankierende forstliche Massnahmen angezeigt. Damit sind die Aufrechterhaltung einer leistungsfähigen Waldwirtschaft und die Massnahmen zur Erhaltung der genetischen Vielfalt (Stettler 1987) gemeint. Wichtig erscheint uns, dass vermehrt von unserem ganzen einheimischen Spektrum an Waldbäumen und Erbgut Gebrauch gemacht wird, ebenfalls sollten die in der Schweiz erfolgreichen fremdländischen Baumarten gleichwertig wie die einheimische Flora behandelt werden. Jede Art und jede Provenienz

zusätzlich kann sich schon bald als äusserst wertvoll für unsere Landschaft erweisen.

Résumé

Modification globale anthropogène du climat et ses effets sur la forêt suisse

L'objet de cet article est de passer brièvement en revue les changements climatiques globaux à venir, leurs effets sur l'écologie de la forêt et le danger qu'ils représentent plus particulièrement pour la forêt suisse. Quelques réflexions sur les conséquences des changements climatiques sur l'exploitation forestière suisse sont présentées en conclusion. Il est peu probable que l'hypothèse d'un changement climatique puisse être confirmée dans un avenir proche et que l'on disposera de données concrètes à ce sujet pour la Suisse. Par conséquent, les propositions touchant à la pratique de la gestion forestière reposent essentiellement sur le principe bien connu de la minimalisation des risques dans le domaine de la sylviculture.

Traduction: *Catherine Martinson*

Literatur

- Ball, T.F.* (1986): Historical evidence and climatic implications of a shift in the boreal forest tundra transition in Central Canada. *Clim. Change* 8: 121–134.
- Bolin, B.* (1986): Requirements for a satisfactory model of the global carbon cycle and current status of modeling efforts. In: *The changing carbon cycle*. J.R. Trabalka, D.E. Reichle (eds.), Springer, New York, pp. 403–424.
- Broecker, W.S.* (1987): Unpleasant surprises in the greenhouse? *Nature* 328, 123–126.
- Brubaker, L.B.* (1986): Response of tree populations to climatic change. *Vegetatio* 67: 119–130.
- COHMAP* (1988): Climatic changes of the last 18 000 years: observations and model simulations. *Science* 241: 1043–1052.
- Davis, M.B.* (1986): Climatic instability, time lags, and community disequilibrium. In: *Community ecology*. J. Diamond, T.J. Case (eds.), Harper & Row, New York, pp. 269–284.
- Davis, M.B.* (1989): Lags in vegetation response to greenhouse warming. *Clim. Change* 15, 1/2: 75–82.
- Davis, M.B., Botkin, D.B.* (1985): Sensitivity of cool-temperate forests and their fossil pollen record to rapid temperature change. *Quat. Res.* 23: 327–340.
- Emanuel, K.A.* (1987): The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature* 326: 483–485.
- Fosberg, M.A.* (1989): Forest productivity and health in a changing atmospheric environment. In: *Climate and geo-sciences*. A. Berger, S. Schneider, J.C. Duplessy (eds.), Kluwer, Dordrecht, pp. 681–688.
- Hamburg, S.P., Cogbill, C.V.* (1988): Historical decline of red spruce populations and climatic warming. *Nature* 331: 428–431.
- Hari, P., Arovaara, H.* (1988): Detecting CO₂ induced enhancement in the radial increment of trees: evidence from northern timber line. *Scand. J. For. Res.* 3: 67–74.
- Houghton, J.T., Jenkins, G.J., Ephraums, J.J.* (eds.) (1990): *Climate change: the IPCC scientific assessment*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 365 pp.

- Idso, S.B. (1989): Carbon dioxide and global change: earth in transition. Inst. Biospheric Res., Tempe, Arizona, 292 pp.
- Kienast, F., Kuhn, N. (1989): Computergestützte Simulation von Waldentwicklungen. Schweiz. Z. Forstwes. 140, 3: 189–201.
- Kohlmaier, G.H., Siré, E.-O., Janecek, A., Keeling, C.D., Piper, S.C., Revelle, R. (1989): Modelling the seasonal contribution of a CO₂ fertilization effect of the terrestrial vegetation to the amplitude increase in atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory. Tellus 41B, 5: 487–510.
- Lashof, D.A. (1989): The dynamic greenhouse: feedback processes that may influence future concentrations of atmospheric trace gases and climatic change. Clim. Change 14: 213–242.
- Lorius, C., Jouzel, J., Raynaud, D., Hansen, J., Le Treut, H. (1990): The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming. Nature 347: 139–145.
- Mikolajewicz, U., Santer, B.D., Maier-Reimer, E. (1990): Ocean response to greenhouse warming. Nature 345: 589–593.
- Mitchell, J.F.B. (1988): Simulation of climate change due to increased atmospheric CO₂. In: Physically-based modelling and simulation of climate and climatic change-part II. M.E. Schlesinger (ed.), Kluwer, Dordrecht, pp. 1009–1051.
- Overpeck, J.T., Rind, D., Goldberg, R. (1990): Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation. Nature 343: 51–53.
- Pastor, J., Post, W.M. (1988): Response of northern forests to CO₂-induced climate change. Nature 334: 55–58.
- Pennington, W. (1986): Lags in adjustment of vegetation to climate caused by the pace of soil development: evidence from Great Britain. Vegetatio 67: 105–118.
- Peters, R.L. (1990): Effects of global warming on forests. For. Ecol. Manage. 35: 13–33.
- Peters, R.L., Darling, J.D.S. (1985): The greenhouse effect and nature reserves. BioScience 35, 11: 707–717.
- Pitman, A.J., Henderson-Sellers, A., Yang, Z.-L. (1990): Sensitivity of regional climates to localized precipitation in global models. Nature 346: 734–737.
- Prentice, J.C. (1986): Vegetation responses to past climatic variation. Vegetatio 67: 131–141.
- Ramanathan, V. (1988): The greenhouse theory of climate change: a test by an inadvertent global experiment. Science 240: 293–299.
- Rind, D., Chiou, E.-W., Chu, W., Larsen, J., Oltmans, S., Lerner, J., McCormick, M.P., McMaster, L. (1991): Positive water vapour feedback in climate models confirmed by satellite data. Nature 349: 500–503.
- Rind, D., Goldberg, R., Ruedy, R. (1989): Change in climate variability in the 21st century. Clim. Change 14: 5–37.
- Ritchie, J.C. (1986): Climate change and vegetation response. Vegetatio 67: 65–74.
- Schneider, S.H. (1989): The greenhouse effect: science and policy. Science 243: 771–781.
- Shugart, H.H. (1984): A theory of forest dynamics. Springer, New York, 278 pp.
- Shugart, H.H., Antonovsky, M.Y., Jarvis, P.G., Sandford, A.P. (1986): CO₂, climatic change and forest ecosystems. In: The greenhouse effect, climatic change, and ecosystems. B. Bolin, B.R. Döös, J. Jäger (eds.), Wiley, Chichester, pp. 475–521.
- Solomon, A.M. (1986): Transient response of forests to CO₂-induced climate change: simulation modeling experiments in eastern North America. Oecologia 68: 567–579.
- Spencer, R.W., Christy, J.R. (1990): Precise monitoring of global temperature trends from satellites. Science 247: 1558–1562.
- Stettler, R. (1987): Zur Erhaltung und Erneuerung der forstlichen Genressourcen der Schweiz. Schweiz. Z. Forstwes. 138, 8: 673–683.
- Tricot, C., Berger, A. (1987): Modelling the equilibrium and transient responses of global temperature to past and future trace gas concentrations. Clim. Dyn. 2, 1: 39–61.
- Washington, W.M., Meehl, G.A. (1989): Climate sensitivity due to increased CO₂: experiments with a coupled atmosphere and ocean general circulation model. Clim. Dyn. 4, 1: 1–38.