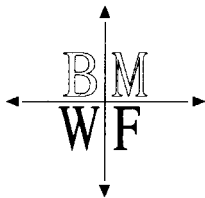


BESTANDSAUFNAHME

ANTHROPOGENE KLIMAÄNDERUNGEN: MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN AUF ÖSTERREICH - MÖGLICHE MASSNAHMEN IN ÖSTERREICH



Bundesministerium für Umwelt,
Jugend und Familie

ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

Kommission für die Reinhaltung der Luft

im Auftrag des

BUNDESMINISTERIUMS FÜR WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG
und des

BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE

ISBN 3-85224-83-2

Eigentümer, Herausgeber, Verleger:

BmfWF, 1014 Wien, Minoritenplatz 5,
BmfUJF, 1030 Wien, Radetzkystraße 2

Gesamtherstellung:
MANZ, Wien 5

Wien, Februar 1992

MITGLIEDER DER KOMMISSION FÜR DIE REINHALTUNG DER LUFT

Univ.Prof.Dr. Othmar Preining (Obmann)	Institut für Experimentalphysik Universität Wien
Univ.Prof.DDr. Manfred Haider (Stellvertreter)	Institut für Umwelthygiene Universität Wien
Univ.Prof.Dr. Siegfried Bauer	Institut für Meteorologie und Geophysik Universität Graz
Univ.Prof.Dr. Karl Burian	Institut für Pflanzenphysiologie Universität Wien
Univ.Prof.Dr. Viktor Gutmann	Institut für Anorganische Chemie Technische Universität Wien
Univ.Prof.Dr. Albert Hackl	Institut für Verfahrenstechnik Technische Universität Wien
Univ.Prof.Dr. Gottfried Halbwachs	Zentrum für Natur- und Umweltschutz Universität für Bodenkultur, Wien
Univ.Prof.Dr. Helger Hauck	Institut für Umwelthygiene Universität Wien
Univ.Doz.Dr. Helga Kolb	Institut für Meteorologie und Geophysik Universität Wien
Univ.Prof.Dr. Wolfgang Kummer	Institut für Theoretische Physik Technische Universität Wien
Univ.Prof.Dr. Hanns Malissa	Institut für Analytische Chemie Technische Universität Wien
Univ.Doz.Dr. Hans Puxbaum	Institut für Analytische Chemie Technische Universität Wien
Univ.Doz.Dr. Georg Reischl	Institut für Experimentalphysik Universität Wien
Univ.Prof.Dr. Heinz Reuter	Institut für Meteorologie und Geophysik Universität Wien
Univ.Prof.Dr. Ferdinand Steinhauser	Institut für Meteorologie und Geophysik Universität Wien
Univ.Prof.Dr. Peter Steinhauser	Institut für Meteorologie und Geophysik Universität Wien

VERZEICHNIS DER MITARBEITER

PROJEKTLEITUNG:

Univ.Doz.Dr. Helga Kolb Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Wien

REDAKTION:

Univ.Prof.Dr. Gottfried Halbwachs Zentrum für Natur- und Umweltschutz
Universität für Bodenkultur, Wien

Univ.Prof.Dr. Helger Hauck Institut für Umwelthygiene
Universität Wien

Univ.Doz.Dr. Helga Kolb Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Wien

Univ.Doz.Dr. Georg Reischl Institut für Experimentalphysik
Universität Wien

ARBEITSGRUPPEN:

Grundlagen/Klimamodelle:

Univ.Prof.Dr. Michael Hantel Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Wien

Dr.Thomas Haiden Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Wien

Klimareihen:

Dr. Ernest Rudel Zentralanstalt für Meteorologie und
Geodynamik

Dr. Inge Auer Zentralanstalt für Meteorologie und
Geodynamik

Dr. Reinhard Böhm Zentralanstalt für Meteorologie und
Geodynamik:

Univ.Prof.Dr. Inge Dirmhirn Institut für Meteorologie und Physik
Universität für Bodenkultur, Wien

Dr. Hans Mohnl Zentralanstalt für Meteorologie und
Geodynamik

Dr. Erich Putz Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Graz

Univ.Doz.Dr. Georg Skoda Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Wien

Hydrologie:

Univ.Prof.Dr. Michael Kuhn	Institut für Meteorologie und Geophysik Universität Innsbruck
Univ.Doiz.Dr. H.P. Nachtnebel	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau Universität für Bodenkultur, Wien
Dr. Friedrich Obleitner	Institut für Meteorologie und Geophysik Universität Innsbruck
Dipl.Ing. Günther Reichel	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau Universität für Bodenkultur, Wien

Limnologie:

Univ.Prof.Dr. Martin Dokulil	Institut für Limnologie Österreichische Akademie der Wissenschaften
Univ.Doiz.Dr. U.H. Humpesch	Institut für Limnologie Österreichische Akademie der Wissenschaften
Dr. Manfred Pöckl	Institut für Limnologie Österreichische Akademie der Wissenschaften
Univ.Doiz.Dr. Roland Schmidt	Institut für Limnologie Österreichische Akademie der Wissenschaften

Vegetation:

Univ.Prof.Dr. Gottfried Halbwachs	Zentrum für Natur- und Umweltschutz Universität für Bodenkultur, Wien
Univ.Prof.Dr. Christian Körner	Botanisches Institut Universität Basel
Dipl.Ing. Martin Kühnert	Zentrum für Natur- und Umweltschutz Universität für Bodenkultur, Wien
Univ.Prof.Dr. Harald Niklfeld	Botanisches Institut Universität Wien
Mag. Susanne Peláez-Riedl	Botanisches Institut Universität Basel
Mag. Walter Ruppert	Zentrum für Natur- und Umweltschutz Universität für Bodenkultur, Wien
Mag. Brigitte Schilcher	Institut für Botanik

Universität Innsbruck

Humanaspekte:

Univ.Prof.Dr. Helger Hauck	Institut für Umwelthygiene Universität Wien
Dr. Helmut Friza	Institut für Umwelthygiene Universität Wien
Univ.Prof.DDr. Manfred Haider	Institut für Umwelthygiene Universität Wien

Emissionen:

Univ.Prof.Dr. Albert Hackl	Institut für Verfahrenstechnik Technische Universität Wien
Dipl.Ing. Ingrid Bauer	Institut für Verfahrenstechnik Technische Universität Wien
Dr. Rudolf Orthofer	Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf
Dipl.Ing. Wolfgang Vitovec	Institut für Verfahrenstechnik Technische Universität Wien

Maßnahmen:

Dr. Ruth Baumann	Umweltbundesamt Abteilung für Lufthygiene
Dr. Volker Fleischhacker	Österreichisches Institut für Raumplanung
Univ.Doiz.Dr. Raimund Haberl	Institut für Wasservorsorge, Gewässergüte und Fischereiwirtschaft Universität für Bodenkultur
Univ.Doiz.Dr. Georg Reischl	Institut für Experimentalphysik Universität Wien

ADMINISTRATIVE BETREUUNG:

Helene Schurz	Institut für Meteorologie und Geophysik Universität Wien
---------------	---

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort

Executive Summary

1. Einleitung

2. Klimamodelle: Mögliche Aussagen für Österreich

2.1 Grundlagen

2.2 Modellergebnisse für Mitteleuropa

2.3 Mögliche Auswirkungen auf das Klima im alpinen Raum

2.4 Schlußfolgerungen

2.5 Literatur

3. Klimareihen: Analyse und Interpretation von Klimadaten

3.1 Allgemeines

3.2 Zeitreihen.

3.3 Forschungsbedarf

3.4 Literatur

4. Hydrologie: Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt Österreichs

4.1 Einleitung

4.2 Methodik

4.3 Veränderung der wichtigsten Klimavariablen

4.4 Entwicklung des Abflusses

4.5 Änderungen im Bereich von Schnee und Eis

4.6 Schlußfolgerungen

4.7 Literatur

5. Limnologie: Auswirkungen geänderter Klimaverhältnisse auf die Ökologie von Oberflächengewässern in Österreich

5.1 Einleitung und Problemstellung

5.2 Auswirkungen von Klimaänderungen auf österreichische Seen in der Vergangenheit (Paläolimnologie)

5.3 Ökologische Langzeitwirkung geänderter Klimaverhältnisse auf österreichische

5.4 Zeitreihenanalyse der Oberflächentemperaturen ausgewählter österreichischer Gewässer

5.5 Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Oberflächengewässer

5.6 Literatur

6. Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Treibhauseffekt

6.1 Kohlenstoff-Bilanz Österreichs

6.2 Mögliche direkte und indirekte Auswirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen auf die Vegetation Österreichs

7. Humanaspekte: Mögliche Auswirkungen anthropogener Klimaänderungen auf die menschliche Gesundheit

7.1 Einleitung

7.2 Unmittelbare Auswirkung einer Erwärmung - Hitzestreß

7.3 Ausbreitung von Krankheitserregern und Vektoren

7.4 Änderung von charakteristischen Krankheitsperioden

7.5 Zunahme der UV - Einstrahlung

7.6 Probleme infolge der Bevölkerungsentwicklung

7.7 Psychische und psychosoziale Auswirkungen

7.8 Änderung der Lebensgewohnheiten

7.9 Zusammenfassung

7.10 Literatur

8. Emissionen von Treibhausgasen: Abschätzung für Österreich

8.1 Einleitung

8.2 Emissionen

8.3 Trend

8.4 Maßnahmen

8.5 Literatur

9. Maßnahmen: Minderung der Auswirkungen des Treibhauseffektes für Österreich

9.1 Allgemeines .

9.2 Strategien und Konzepte

9.3 Internationale und nationale Vorgaben für CO₂-Reduktionen

9.4 Beispiele zu Anpassungsmaßnahmen in Österreich

ANHANG

10. Forschungsbedarf

VORWORT

Schmerzhaft mußten wir in den letzten Jahren erkennen, daß neben den bisher als für den Charakter unseres Klimas maßgeblich beschriebenen Kräften auch der Mensch die klimatischen Verhältnisse, und zwar in einem für die derzeit bestehende Organismenwelt negativen Sinne, zu beeinflussen vermag.

Die Belastung der Luft mit Emissionen schädigt nämlich nicht nur direkt die gesamte Lebewelt, sie wirkt sich auch auf das globale Klima aus.

Zwar ist es im letzten Jahrzehnt gelungen, den Ausstoß von SO₂ in erheblichem Ausmaß zu reduzieren, trotzdem erscheint allzu großer Optimismus nicht angebracht. Die CO₂-Emissionen etwa, welche mit ca. 50% Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt haben, steigen weiter an und sind nur durch drastische Umkehr der Lebensgewohnheiten global entsprechend deutlich zu reduzieren.

Die Bewältigung dieses Problems erfordert weltweite Strategien und internationale Kooperation. Die Dringlichkeit des Handlungsbedarfes wird u.a. durch die im Rahmen von UNCED 92 (United Nations Conference on Environment and Development) zu beschließende Klimakonvention unterstrichen.

Auch Österreich ist sich seiner Aufgabe bewußt. Als 1. Schritt hat sich die Bundesregierung - gemäß den Empfehlungen der Konferenz von Toronto (Juni 1988) - verpflichtet, bis zum Jahr 2005 die CO₂-Emissionen um 20%, bezogen auf das Jahr 1988, abzusenken, um einer drohenden globalen Erwärmung entgegenzuwirken. Ein Interministerielles Komitee zur Koordinierung von Maßnahmen betreffend den Schutz des globalen Klimas" wurde zwecks Erarbeitung eines nationalen Programmes ins Leben gerufen.

Zudem hat das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung einen Forschungsschwerpunkt "Umweltmeteorologie und atmosphärische Chemie" gesetzt.

Über Auswirkungen einer globalen Erwärmung auf regionale Verhältnisse ist derzeit wenig bekannt. Angesichts des großen Risikos hat jedoch das Vorsorgeprinzip zu gelten. Es besteht also die Verpflichtung, unverzüglich alle geeignet erscheinenden Maßnahmen zu setzen, um etwaigen negativen Folgen vorzubeugen.

Grundlage für entsprechende weitere Vorgangsweisen und für eine Annäherung im Verständnis für das vernetzte System Biosphäre ist jedoch eine möglichst genaue Erfassung des Datenmaterials zum Problemkreis Treibhauseffekt.

Aufgabe der vorliegenden Studie war es daher, diese Grundlage in einem interdisziplinären

Zusammenwirken von Klimatologen, Hydrologen, Limnologen, Botanikern, Medizinerinnen, Technikern, Meteorologen u.a. zu erarbeiten und den weiteren Forschungsbedarf aufzuzeigen.

Dies ist in hervorragender Weise gelungen.

Allen, die an dieser ersten Bestandsaufnahme mitgewirkt haben, sei daher an dieser Stelle aufrichtig gedankt.

Die vorliegende Kurzfassung der Forschungsergebnisse soll dem interessierten Leser einen ersten Überblick über den Themenkomplex und die Situation in Österreich vermitteln.

Wissenschaftliche Details werden in der bei der Österreichischen Akademie der Wissenschaften erscheinenden Langfassung enthalten sein.

Dkfm. Ruth Feldgrill-Zankel,
Bundesminister für
Umwelt, Jugend und Familie

Vizekanzler Dr. Erhard Busek,
Bundesminister für
Wissenschaft und Forschung

VORWORT

Die Österreichische Akademie der Wissenschaften hat schon vor etwa drei Jahrzehnten erkannt, daß der Erhaltung einer reinen und ungestörten Atmosphäre besondere Bedeutung zukommt und die Kommission für Reinhaltung der Luft gegründet. Diese Kommission hat für Österreich Initiativen gesetzt und Entscheidungsträger sowie einschlägige Ministerien auf die anstehenden und auf zukünftig zu erwartenden Probleme hingewiesen. Aufgrund derartiger Informationen erteilte "Aufträge" zur Erstellung von Luftqualitätskriterien wurden von der Kommission im Rahmen von Verträgen zwischen den Ministerien und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften erfolgreich durchgeführt.

Weltweit und international sind heute drei miteinander verwobene Problemkreise in den Brennpunkt des öffentlichen Interesses gerückt: Die anthropogene Klimabeeinflussung, der Abbau des stratosphärischen Ozons und die Veränderung der Oxidationsfähigkeit der Troposphäre.

Die Kommission für Reinhaltung der Luft hat in den vergangenen Jahren vor allem Beiträge zu Fragen aus dem zuletzt genannten Problemkreis geleistet und Grundlagen für politische Entscheidungen und gesetzliche Regelungen bereitgestellt.

Mit der dramatischen Erklärung von Toronto 1988 ist auf internationaler und nationaler Ebene die Notwendigkeit politischer Maßnahmen zur Minderung der anthropogenen Klimabeeinflussung und zur Anpassung an die Folgen der klimatischen Veränderungen deutlich geworden. Internationale Koordination und nationale Optimierung der Maßnahmen sind unerlässlich.

In Österreich müssen viele für die zielführende Gestaltung von Maßnahmen notwendige Informationen erst erarbeitet werden. Andererseits ist Einiges an Wissen vorhanden, aber in der derzeitigen Form nicht nutzbar. Wegen der vielen Facetten des Problemekes und des notwendigerweise multidisziplinären Ansatzes gibt es keine a priori für Fragen der anthropogenen Klimaänderungen und ihrer Auswirkungen "zuständige" wissenschaftliche Institution in Österreich.

Vertrauend auf die nunmehr langjährige Erfahrung in interdisziplinärer Zusammenarbeit hat die Kommission für Reinhaltung der Luft angeboten, zusammen mit nicht der Kommission angehörenden Experten eine "Bestandsaufnahme Anthropogene Klimaänderungen: Mögliche Auswirkungen auf Österreich - mögliche Maßnahmen in Österreich" zu erstellen. Das Gewicht sollte dabei, der Zusammensetzung der Kommission entsprechend, auf den naturwissenschaftlichen Aspekten liegen. Entsprechend der Rechtslage in Österreich wurde auf eine Behandlung der Option "Kernenergie" als Ersatz für fossile Brennstoffe verzichtet, obgleich international ein verstärkter Ausbau der Kernenergie, vor allem auch in außereuropäischen Ländern, ernstlich in Erwägung gezogen wird. Ebenso wurden ökonomische, soziologische und politische Aspekte vorerst nicht in die Überlegungen einbezogen.

Das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung hat dieses Angebot aufgegriffen, und gemeinsam mit dem Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie die Finanzierung sichergestellt.

In eineinhalbjähriger Arbeit hat eine Gruppe von Wissenschaftern in Arbeitsgruppen Literatur und Datenmaterial zusammengetragen und gesichtet, Möglichkeiten zur Übertragung allge-

meiner oder großräumiger Zusammenhänge auf den alpinen Raum erkundet und in einzelnen Fällen beispielhaft erprobt. In den vielen, regelmäßig stattfindenden Plenarsitzungen wurde über Probleme und Erkenntnisse der einzelnen Fachbereiche berichtet und über die Anforderungen der anderen an den eigenen Fachbereich diskutiert um ein möglichst vollständiges Bild des vorhandenen, aber auch des fehlenden Wissens zu gewinnen.

Die im Rahmen der Projektarbeit geleistete wissenschaftliche Arbeit wird in Form von Beiträgen einzelner Untergruppen von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften veröffentlicht.

Die Kurzfassungen der einzelnen Arbeitsgruppen wurden von G. Halbwachs, H. Hauck, H. Kolb und G. Reischl überarbeitet, auf Konsistenz geprüft und zu dem vorliegenden einheitlichen Bericht zusammengefügt.

Am 5.7.1991 konnte der Bericht abgeschlossen und von der Kommission Reinhaltung der Luft einstimmig verabschiedet werden.

Als Vertreter der Auftraggeber nahmen Frau Mag. Buzeczki-Busch, Frau Mag. Kovacic, Frau Mag. Perle und Herr Dr. Smoliner für das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung und Frau Mag. Christ für das Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie an vielen der Plenarsitzungen teil. Sie unterstützten die Arbeit mit Informationen aus nationalen und internationalen Gremien und Hinweisen über die Art von Aussagen, die erzielt werden müssen, um für politische Entscheidungen Relevanz haben zu können.

Durch die Teilnahme von Dipl.Ing.Dr. Kastner und Dipl.Ing. Camba wurde das Interesse des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft an der Arbeit dokumentiert.

Bei der administrativen Betreuung der Arbeit und der Erstellung der Reinschrift der Berichte hat sich Frau Helene Schurz große Verdienste erworben.

Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Wien, 1991.07.06

(O. Preining)
Obmann

EXECUTIVE SUMMARY

PROBLEMSTELLUNG

Die anthropogene Klimabeeinflussung ist zwar ein globales Problem, dennoch muß auch Österreich Lösungen suchen, die seinen klimatischen, geographischen, wirtschaftlichen und energetischen Besonderheiten Rechnung tragen. Dabei müssen einerseits emissionsmindernde und andererseits Anpassungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden.

Als Grundlage für diesbezügliche politische Entscheidungen wurde eine Bestandsaufnahme erarbeitet, die den Stand des Wissens hinsichtlich der Auswirkungen des zusätzlichen, vom Menschen verursachten Treibhauseffektes auf Klima, Hydrologie, Limnologie, Vegetation und den Menschen in Österreich wiedergibt. Aufbauend auf einer Emissionsbilanz Österreichs wurde ein Katalog möglicher Maßnahmen erarbeitet.

STAND DES WISSENS

Die Erdoberfläche und die Atmosphäre werden durch kurzwellige Sonnenstrahlung erwärmt. Gleichzeitig strahlen sie jedoch Energie in Form von langwelliger Strahlung in den Weltraum ab. Die Abstrahlungsenergie entspricht im globalen Jahresmittel der Energie der kurzwelligen Sonnenstrahlung, die vom System Erde-Atmosphäre absorbiert wird. Eine wichtige Rolle für die Oberflächentemperatur der Erde spielen dabei Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon und andere Gase der Atmosphäre, die im kurzwelligen Strahlungsbereich relativ schwach, im langwelligen jedoch stark absorbieren. Eine daraus folgende langwellige Rückstrahlung zur Erdoberfläche wird als natürlicher Treibhauseffekt bezeichnet. Jede Veränderung dieses Systems führt zu einer Erwärmung oder Abkühlung der Erde.

Seit Beginn der Industrialisierung ist die Konzentration einiger Treibhausgase stark angestiegen und einige neue, sehr wirksame kamen dazu. Der Konzentrationsanstieg dieser Spurengase stellt als anthropogener Treibhauseffekt eine Verstärkung des natürlichen und damit eine solche Störung des Systems dar.

KLIMA

Zur Abschätzung möglicher Klimaänderungen durch den anthropogenen Treibhauseffekt stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, die alle mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Als am besten geeignet zum Studium der klimarelevanten Prozesse und möglicher Klimaszenarien gelten physikalisch-mathematische globale Klimamodelle, insbesondere sogenannte general circulation models (GCM).

Aufbauend auf den Ergebnissen solcher Modellberechnungen für die in der ersten Hälfte des nächsten Jahrhunderts erwartete Verdoppelung der vorindustriellen CO₂-Konzentration wurde ein Klimaszenarium für Österreich als Basis für die Abschätzung weiterer Auswirkungen ausgewählt: Anstieg der Temperatur mit Schwerpunkt im Winter (2/C im Mittel, 3/C im

Winter); Erhöhung der Niederschlagssumme im Winter (10-20%), Tendenz zur Abnahme im Sommer; Abnahme der Zahl der Tage mit Schneebedeckung (10-20 Tage/ °C und Jahr) in Lagen bis 2500 m Höhe.¹

Zunächst erhebt sich die Frage, ob sich die mittels Modellen berechneten Klimaänderungen schon in den Klimadaten widerspiegeln.

Aus global gemittelten Temperaturkurven ergibt sich ein Temperaturanstieg von 0,5°C seit 1850. Österreich hat aufgrund seiner langen klimatologischen Tradition für einige Stationen sehr lange Datenreihen, die weiter zurückreichen als die global gemittelten Reihen. Die Temperaturkurve für Österreich, die 1775 beginnt, zeigt zwar ab 1850 einen ähnlichen Verlauf wie die global gemittelten Kurven, davor jedoch gleich hohe Temperaturen wie sie derzeit beobachtet werden. Das derzeitige Temperaturniveau bewegt sich daher noch innerhalb der natürlichen Bandbreite des Klimas. Auch ein Anstieg der Kurzzeitvarianz oder eine Häufung von extremen Temperaturen ist nicht beobachtbar.

Der Niederschlag weist keinen einheitlichen Trend in Österreich auf und ist noch nicht flächendeckend untersucht. In den letzten 50 Jahren sind die Niederschlagsmengen im Westen Österreichs jedoch eher gestiegen, im Osten eher gefallen.

Weder bei der Neuschneesumme, noch bei der Zahl der Tage mit Schneedecke ist an den Tal- und Tieflandstationen im Laufe der vergangenen 90 Jahre ein einheitlicher Trend zu erkennen. Im Bergland sind die Verhältnisse in den einzelnen Höhenstufen und luv-lee-seitig sehr unterschiedlich.

Die Analyse der 30-jährigen Reihen der Globalstrahlung für Wien und Salzburg läßt keinen Trend erkennen.

Die Tatsache, daß in den Klimadaten der letzten 200 Jahre keine dem Treibhauseffekt eindeutig zuordenbaren Trends zu erkennen sind, steht nicht im Widerspruch zu den Modellvorhersagen für das 21. Jahrhundert.

HYDROLOGIE

Auch für den Wasserkreislauf sagen Modelle spürbare Änderungen voraus: man muß davon ausgehen, daß die geänderten Niederschlagsverhältnisse überproportionale Auswirkungen auf den Abfluß haben werden. Infolge des geringeren Anteils des festen Niederschlags am gesamten Niederschlag nimmt der winterliche Abfluß zu, der sommerliche ab. Wegen der früheren Schneeschmelze könnten die Böden im Sommer trockener werden. Die geringere Schneedecke begünstigt häufigeres Gefrieren der Böden im Winter. Infolge des Ansteigens der Schneegrenze werden die österreichischen Gletscher kleiner werden, manche ganz verschwinden. Daraus ergibt sich eine Verschiebung des jahreszeitlichen Wasserangebots.

¹Diese Daten wurden durch Verknüpfung von Modellaussagen für Mitteleuropa mit alpinen Temperatur- und Schneedeckenreihen gewonnen.

LIMNOLOGIE

Eine Lufttemperaturerhöhung von 2°C hat für tiefe Seen relativ geringe Bedeutung in Flachseen (z.B. Neusiedlersee) erheblich stärkere Auswirkungen und beeinflusst am nachhaltigsten Fließgewässer.

Aus einer Vielzahl von Einzeluntersuchungen über die Auswirkungen von Temperaturerhöhungen, Dichteänderungen, CO₂-Zunahme, etc. auf Oberflächengewässer und darin lebende Wassertiere läßt sich abschätzen, daß mit einer teilweise geänderten Artenzusammensetzung und größerer Biomasse bestimmter Organismen zu rechnen ist. Von besonderer Bedeutung können Entkopplungen von Nahrungsketten sein.

In sehr kalkreichen Gewässern besteht bei Zunahme der Kalkfällung infolge erhöhter Photosynthese im Uferbereich die Gefahr der Verkarstung. Die geringere Löslichkeit des Sauerstoffs bei höherer Temperatur wird überall dort zu Problemen führen, wo bereits jetzt Sauerstoffmangel besteht, z.B. in der Umgebung von Abwassereinleitungen. Ein positiver Effekt erhöhten CO₂-Gehalts der Luft kann sich in Gewässern auf silikatischem Untergrund ergeben, vor allem im Hochgebirge, im Wald- und Mühlviertel.

Es ist zu erwarten, daß Arten wie z.B. Saibling und Bachforelle durch Temperaturerhöhung zumindest stark dezimiert werden, andere Formen wie z.B. einige Karpfenarten ihr Verbreitungsareal aber vergrößern können. Die meisten Wassertierarten werden mit der langsamen Erwärmung schritthalten und sich genetisch an diese anpassen können.

Zahlreiche der in Österreich vorkommenden Wasserpflanzen, die bereits jetzt zu den gefährdeten Arten zählen (z.B. verschiedene Teich- und Seerosenarten, sowie Rot- und Braunalgen), könnten bei einem Ansteigen der Wassertemperatur gänzlich verschwinden bzw. durch andere, wärmeliebende Arten ersetzt werden.

VEGETATION

Innerhalb der Vegetation stellen insbesondere die Wälder und ihre Böden im Rahmen des globalen Kohlenstoffkreislaufes einen gewaltigen Kohlenstoffspeicher dar. Die für Österreich erstellte Kohlenstoffbilanz zeigt, daß zwei Drittel des nicht fossilen Kohlenstoffes (1,2 Mrd. t C) im Humus der Böden enthalten ist, und etwa ein Drittel auf die Vegetation selbst entfällt. Die Wälder, die knapp die Hälfte der Landesfläche Österreichs bedecken, enthalten einschließlich ihrer Böden 75 % des gesamten Kohlenstoffvorrates. Allein in Waldbäumen sind 90 % des in Pflanzen gespeicherten Kohlenstoffes; der Vorrat in Ackerpflanzen ist demgegenüber bedeutungslos. Der gesamte Kohlenstoffvorrat Österreichs in der Vegetation einschließlich der Bodenhumus entspricht dem rund 80-fachen des jährlichen Verbrauchs an fossilem Kohlenstoff. Würde der jährliche Holzertrag der Wälder Österreichs unter Berücksichtigung der Waldschäden ausschließlich zur Substitution von fossilen Energiequellen verwendet, so könnte die CO₂-Emission theoretisch um ca. 15% vermindert werden.

Intensivere Waldnutzung und Neuaufforstungen könnten in den nächsten Jahren höchstens ein

Anteil von 5 bis 15 % der jährlichen fossilen Kohlenstoffemission kompensieren. Da jedoch langfristig der Wald auf Null bilanziert, kann Aufforstung nur einen Aufschub der Emission bedeuten. Ein solcher ist auch durch geeignete Nutzung des Holzes erzielbar. Eine andauernde Wirkung kann nur durch Ersatz fossiler Brennstoffe durch Biomasse erreicht werden, was jedoch aus technologischen und Umweltschutzgründen nur in sehr begrenztem Ausmaß möglich ist.

Der CO₂-Anstieg in der Atmosphäre könnte direkte und indirekte Wirkungen auf die Vegetation Österreichs ausüben, und zwar in mehrfacher Hinsicht:

Als direkte Folgen einer gesteigerten CO₂-Konzentration wären z.B. höhere Photosyntheseraten und eine bessere Wassernutzungs- und Stickstoffnutzungseffizienz zahlreicher Pflanzenarten zu erwarten.

Unter den indirekten Wirkungen sind alle Konsequenzen für die Vegetation im Zusammenhang mit der prognostizierten Klimaänderung zu verstehen. Eine Änderung der Temperatur- (und Niederschlags-)verhältnisse könnte einerseits das Wachstum der Pflanzen und damit deren räumliche Verteilung, andererseits auch die Intensitäten und Streßmuster verschiedener abiotischer und biotischer Streßfaktoren beeinflussen, was wieder die Vegetation betrafte.

Durch ein rasches Ansteigen der Jahresmitteltemperatur (JMT) um 2 K könnte es z.B. im gesamten Alpenvorland und in den submontanen Gebieten der Randalpen, die derzeit JMT zwischen 8/ und 9/C aufweisen, zu einem großflächigen Absterben der dort dominierenden Fichtenforste kommen, weil die Fichte in ihrer ökologischen Amplitude neben einem Niederschlagsminimum zwischen 500 und 600 mm durch eine Obergrenze der JMT von 9/C limitiert ist.

In den trockensten Gebieten Österreichs im pannonischen Raum (Weinviertel, Marchfeld) ist eine weitere Ausdehnung der Waldsteppe zu erwarten. Ob die infolge der höheren Temperaturen gesteigerte Evapotranspiration durch die oben beschriebenen direkten Folgen kompensiert werden kann, erscheint fraglich.

MENSCH

Durch eine Änderung der klimatischen Situation sind direkte und indirekte Auswirkungen sowohl auf die Gesundheit und das Wohlergehen des einzelnen Menschen als auch der ganzen Bevölkerung zu erwarten.

Direkte Auswirkungen einer Temperaturerhöhung liegen vor allem in einer Zunahme des Hitzestresses und, bei Überschreiten bestimmter Grenzen, einer Zunahme der Häufigkeit von Krankheits- und Todesfällen.

Bei einer Temperaturerhöhung sind zwar Veränderungen der Verbreitungsgebiete von Krankheitserregern und deren Überträgern sowie Verschiebungen von charakteristischen Krankheitsperioden zu erwarten, sie sollten aufgrund der hygienischen Verhältnisse in Österreich aber keine nennenswerten Folgen haben.

Österreich könnte von der verstärkten Migration jener Völker betroffen sein, deren Lebensgrundlagen durch Klimaänderungen verschlechtert werden. Dies wird neben wirtschaftlichen Problemen auch psychische und soziale mit sich bringen. Streßsituationen könnten auch durch den möglicherweise notwendigen Wandel der Lebensgewohnheiten ausgelöst werden.

EMISSION VON TREIBHAUSGASEN UND MÖGLICHE MASSNAHMEN

EMISSION

Nahezu die Hälfte von Österreichs Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt ging 1988 auf CO₂ zurück, etwas mehr als ein Viertel auf Methan, ein Fünftel auf Halogenkohlenwasserstoffe und zwei Hundertstel auf Distickstoffoxid.

Während bei den Kohlendioxid-Emissionen in der letzten Dekade nahezu Stagnation eingetreten ist, sind die Methan-Emissionen um 11% und die Distickstoffoxid-Emissionen um 19% angestiegen. Bei den Halogenkohlenwasserstoffen war eine Abnahme der Emissionen um 20% zu beobachten; infolge des Ersatzes verbotener, ozonzerstörender Halogenkohlenwasserstoffe durch andere, allerdings klimawirksamere hat die Treibhauswirkung aber nur um 5% abgenommen.

Auch Österreich muß sich an den weltweit erforderlichen emissionsmindernden Maßnahmen beteiligen. Für CO₂ gibt es eine Zielvorgabe der österreichischen Bundesregierung, die sich an die Empfehlung der Konferenz von Toronto anlehnt und bis zum Jahr 2005 eine Emissionsreduktion um 20 % , bezogen auf das Jahr 1988, vorsieht.

Für die anderen Treibhausgase fehlen analoge Absichtserklärungen. Zum Schutz der stratosphärischen Ozonschicht wurden auch in Österreich Produktions- und Verwendungsverbote einzelner Halogenkohlenwasserstoffverbindungen erlassen. Um die oben erwähnte Substitution der ozonzerstörenden Substanzen durch klimabeeinflussende zu verhindern, sind weitere Regelungen erforderlich.

MASSNAHMEN

Der Katalog an möglichen ursachenbezogenen, d.h. emissionsmindernden Maßnahmen ist umfangreich und erstreckt sich von rein technologischen Eingriffen über organisatorische Maßnahmen bis hin zu Änderungen in der Einstellung und Verhalten der Menschen. Es besteht auch international weitgehend Übereinstimmung, daß Schwerpunkte dieses Kataloges die Erhöhung des Energienutzungsgrades, Energiesparmaßnahmen und emissionsarme Energieumwandlungsverfahren darstellen.

Eine Klimaänderung im angenommenen Ausmaß wird in Österreich Anpassungsmaßnahmen in Land- und Forstwirtschaft, Fremdenverkehr, Wasser- und Energiewirtschaft, Straßen- und Siedlungsbau, usw. notwendig machen. Drastisches Beispiel dafür ist der Wintertourismus. Änderungen der touristischen Angebotsprofile würden dann unerläßlich sein. Für einen in

seiner Struktur geänderten Tourismus könnte die Klimaänderung auch positive Auswirkungen haben.

Die Erarbeitung konkreter Strategien und Konzepte zur Umsetzung von Maßnahmen unter Berücksichtigung der relativen Wirksamkeit, der Nebeneffekte, der Kosten, des Zeitrahmens, der politischen Durchsetzbarkeit, u.s.w. ist aufwendig, aber unerlässlich. Viele der Maßnahmen haben außer der Reduktion klimarelevanter Spurengase auch andere positive Effekte, die allein schon ihre Realisierung unabhängig von ihrem Beitrag zur Klimaproblematik rechtfertigen (z.B. Verbesserung der Luftqualität im menschlichen Lebensraum). Die meisten Maßnahmen haben aber auch zusätzlich negative Nebeneffekte, sodaß keinesfalls auf eine umfassende Beurteilung der Auswirkungen verzichtet werden kann.

FORSCHUNGSBEDARF

Der internationale Stand des Wissens bezüglich grundlegender Zusammenhänge in der Klimaproblematik weist noch substantielle Lücken auf. Darüber hinaus ist die Übertragbarkeit allgemeiner Erkenntnisse auf die spezifisch österreichischen Verhältnisse nicht ohne weiteres möglich. Das Fehlen von Arbeiten und Arbeitsgruppen, die sich mit der Umsetzung globaler Zusammenhänge auf Österreich beschäftigen, ist ein Hinweis auf dringenden Forschungsbedarf. So konnte z.B. wegen der Überlastung der wenigen Fachleute in Österreich die an sich sehr wichtige Frage des chemischen Klimas nicht behandelt werden. Ähnlich ist die Situation hinsichtlich der Raumordnung.

Gemeinsam ist den einzelnen Fachbereichen, daß zwar sektorale Kenntnisse vorliegen, zu übergeordneten Zusammenhängen jedoch Informationen weitgehend fehlen; dies bedeutet allerdings nicht, daß nicht auch sektoral Forschungsbedarf gegeben ist.

Die Arbeit an der vorliegenden Studie hat gezeigt, daß multidisziplinäre Forschung, wie sie die Klimaproblematik in hohem Grade erfordert, derzeit nur schwer realisierbar ist, da die Tradition auf breiter Basis fehlt, und die notwendige Infrastruktur an den österreichischen Forschungsstätten mangelhaft ist. Um die notwendige Klimaforschung zu realisieren wird auch Flexibilität in der Forschungsadministration erforderlich sein, um auf die sich ständig ändernden Anforderungen rasch reagieren zu können. Auch der internationalen Zusammenarbeit wird ein hoher Stellenwert zukommen, dem in geeigneter Form Rechnung zu tragen sein wird.

Es sind daher neben finanziellen auch strukturelle Probleme zu lösen.

EXECUTIVE SUMMARY

Anthropogenic climate change is a global problem, but nevertheless Austria must develop response strategies suited to its specific climatic, geographic, economic and energy situation.

As a basis for political decisions a status report on scientific knowledge concerning expected climate change in the alpine region and its effects on the hydrological cycle, limnology, vegetation and human beings is presented. An inventory of Austria's greenhouse gas emissions and a catalogue of possible response strategies is included.

STATE OF THE ART

Earth and the Atmosphere heated by short-wave solar radiation emit long-wave radiation into space. On a long term basis, these two fluxes of energy are balanced, thus keeping the surface temperature of the earth constant. Within this system greenhouse gases as water vapour, carbon dioxide, ozone etc. distinctly affected surface temperature of the earth since they let pass short-wave radiation readily while absorbing quite effectively within the long-wave range of the spectrum. The enhanced back radiation from the atmosphere to the earth's surface causes the natural greenhouse effect. Any change in the radiation balance of earth and atmosphere leads to temperature changes.

Since the beginning of industrialization the concentration of some natural greenhouse gases has increased and new, very effective species have been added; this enhancement of the greenhouse effect due to human activities is called anthropogenic greenhouse effect.

CLIMATE

Out of several methods used to predict the consequences of the enhancement of the greenhouse effect on climate, general circulation models (GCM) prove to be the most valuable tool, in spite of the fact that they have their uncertainties, too.

Assuming a doubling of the pre-industrial CO₂-level, to be reached within the first half of the 21st century, a climate scenario for Austria was developed using the results of GCMs: A temperature increase of 2°C in the annual mean, 3°C in winter; an increase in precipitation in winter (10-20%), tendency of a decrease in summer; reduction of the number of days with snowcover (10 - 20 days/ °C and year) in elevations up to 2500 m.¹

Temperature observations in Austria do not yet show signs of this increase: whereas a rising temperature trend similar to that of the global mean can be observed since 1850, older records going back to 1775 show about the same levels as today. This means that observed temperature changes are still within the natural variation. Short time variability does not show any

¹These values were obtained by a combination of model results for central Europe with alpine temperature and snowcover data of the past.

significant change. Extremes of temperature also do not occur more frequently.

Precipitation is much more variable than temperature; no uniform trend exists in Austria. During the last 50 years however there seems to be an increase in precipitation in the west and a decrease in the east of the country.

For the last 90 years no trend could be identified concerning the number of days with snowcover and the yearly sum of new snow in the valleys and lower altitude regions. 30 years of global radiation measurements at Vienna and Salzburg also show no trend.

It has to be noted, that the lack of evidence for climatic changes due to the anthropogenic greenhouse effect does not contradict model derived predictions for the 21st century. Obviously it is difficult to detect small systematic changes in the noise of natural variability.

HYDROLOGY

Model predictions for the water cycle indicate considerable changes: modifications of precipitation will highly influence run-off. The diminished contribution of snow to the total winter precipitation leads to an additional increase of runoff in winter and decrease in summer.

Earlier onset of snowmelt could cause a shift towards more arid soils. Reduced snow cover will also promote freezing of soil during wintertime. Because of the ascending snow line, glaciers in Austria will diminish and partly vanish, thus changing the seasonal water supply.

LIMNOLOGY

A temperature increase of 2°C will mainly affect running waters; shallow lakes (e.g. Neusiedlersee) will be less influenced and deep lakes barely affected.

Many investigations concerning the effects of temperature increase, density changes, carbon dioxide increase etc. on surface waters and their fauna show that the diversity of species and their biomass will change. Decoupling of food chains might be of considerable importance.

Littoral areas of limy waters could turn into karstic formations because of increased photosynthesis and subsequent pH-shift. Decreasing oxygen solubility will become a problem especially in anaerobic water regions e.g. in the vicinity of sewage outlets. Increase in tropospheric carbon dioxide concentrations might improve the present situation in waters located in silicotic areas, e.g. the high Alpine regions, Wald- and Mühlviertel.

A decline of some species like char and brown trout has to be expected, others like carps will become more dominant. In general most aquatic species will be able to adapt.

Various water plants which are already endangered in Austria at present, like water lilies and red and brown algae, could vanish completely or be replaced by other thermophil varieties.

VEGETATION

Within vegetation especially woodlands represent a huge carbon pool in the global carbon cycle. The carbon balance of Austria reveals that the humus layer of soils contains two thirds of non fossil carbon (1.2 billion tons) while one third is allotted to vegetation. Almost half of the Austrian territory is covered with forests, containing 75% of Austria's total carbon reservoir in trees and soils. Forest trees contain 90% of the entire carbon stored in vegetation whereas the carbon pool in agricultural crops is of comparatively little significance. In Austria the total carbon accumulated in vegetation and humus soils is eighty times higher than the yearly output of fossil carbon released by combustion processes.

Only 5 to 15% of the yearly emission of carbon dioxide could be compensated by new afforestations. As over long periods forests have a zero balance with regard to carbon dioxide afforestation, only can have retarding effects. This may also be achieved by an appropriate use of the raw material wood. A permanent contribution to CO₂ reduction is only possible in replacing fossil fuels by biomass.

MAN

Health and well-being of the individual and of the total population may be directly affected by climatic changes and also by secondary effects.

Increase in temperature will primarily increase heat stress and - if certain limits are exceeded - enhance morbidity and mortality.

Higher temperatures also promote the spreading of bacteria, viruses and vectors. The characteristic time pattern of various diseases may also be shifted. However, the high hygienic standards maintained in Austria will be able to compensate for these changes.

Countries with a wealthy economy which are not very much affected by climate change will undoubtedly attract refugees from less fortunate parts of the world, e.g. coastal and arid zones. This certainly will cause not only economic but social and psychological problems as well. Changes in the traditional way of life forced by new climatic conditions could also lead to additional stress.

GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND POSSIBLE RESPONSE STRATEGIES

EMISSIONS

In 1988, almost one half of the Austrian contribution to the anthropogenic greenhouse effect was caused by CO₂, little more than a quarter by methane, one fifth by chlorofluorocarbons and halons, and only two hundredths by di-nitrogenoxide.

During the last few years no major trend in the emissions of CO₂ could be observed, whereas

the emissions of methane and di-nitrogenoxide showed an increase of 11% and 19%, respectively. Emissions of chlorofluorocarbons including halons decreased by 20% , their warming potential however dropped only by 5% as some of the banned, ozone destroying compounds have been substituted by chlorofluorocarbons with higher greenhouse potential.

Austria has to participate in the world wide required reduction of greenhouse gas emissions. As formulated by the Austrian government in accordance with the suggestions of the Toronto conference the goal concerning CO₂ is an emission reduction by 20% (based on the emissions of 1988) until 2005.

There are no similar declarations concerning the other greenhouse gases. For the protection of the stratospheric ozone layer, a ban on production and use of some chlorofluorocarbons was issued in Austria. To prevent the substitution of the banned substances by other greenhouse gases, legal measures are necessary.

RESPONSE STRATEGIES

There is a huge variety of possible source related (e.g. emission reducing) measures including technological and technical operations, changes in management and organisation, up to changes in the attitude, habits and behaviour of citizens. According to international agreements special efforts should be made to increase the efficiency of energy consuming processes and to enforce energy saving measures and low emission energy conversion processes.

The predicted climatic change in Austria will require measures in agriculture and forestry, tourism, water supply, energy production and consumption, road construction and planning, etc. A drastic example might be winter tourism in Austria, where major changes will be necessary. However, the climatic change could quite well be of advantage for a different type of tourism.

The assessment of measures according to their relative effectiveness, side effects, costs, timescale of realisation, suitability for political enforcement etc., is rather elaborate but necessary. Many measures have, in addition to their primary effect of reducing the emission of greenhouse gases, positive side effects which justify their realisation independent of their contribution to climatic change (e.g. better outdoor air quality). But most of the measures have also negative side effects requiring a comprehensive assessment of all possible consequences.

RESEARCH REQUIREMENTS

The international state of knowledge concerning the basics of climatic change shows substantial deficiencies. Furthermore, the applicability of general findings to the specific Austrian situation is limited. The lack of publications on this topic is a strong indication of extensive research requirements. In the study presented, the important subject of chemical climate could not be covered for lack of free research capacity among Austrian scientists.

Common to all fields is the lack of comprehensive knowledge about entire systems, although often a large number of facts concerning small subsystems are already known. This does not

necessarily exclude research requirements for some special fields.

This study shows clearly that at present multidisciplinary research necessary to cope with subjects like climatic change is not a simple task. Scientific tradition in interdisciplinary work and the infrastructure of research institutions in Austria are missing or not adequate. High flexibility of the research administration will be needed to comply with the constantly changing requirements of climatic change research. International cooperation is of increasing importance and must be supported adequately. Besides financial problems, structural problems have to be solved.