

Christian-Dietrich Schönwiese
Siegfried Schwarzl

Klimaänderung/CO₂/Ozon

6. Tagung des
wissenschaftlichen Beirates



Richtige Ökonomie ist die kulturelle Fortsetzung der Ökologie. Wäre der Mensch in Politik und Wirtschaft dieser Grundregel gefolgt, hätte es niemals jene katastrophalen Umweltzerstörungen und Lebensraumvergiftungen gegeben, die uns heute bedrohen. Rettung aus dieser Gefahr können nicht Meinungskrieg und gegenseitige Bekämpfung bringen, sondern einzig und allein die Zusammenarbeit aller.

Der 1984 gegründete „Verein für Ökologie und Umweltforschung“ will gemeinsam mit der bereits seit 1957 auf dem Gebiet des Umweltschutzes in vorderster Front kämpfenden „Forschungsgemeinschaft Wilhelminenberg“ den Weg der Zusammenarbeit gehen und vor allem durch das „Institut für angewandte Öko-Ethologie“ neue Initiativen setzen. Es geht hier um die Erforschung vordringlicher Umweltprobleme ebenso wie um die Revitalisierung zerstörter Gebiete und die steuernde Mitplanung von Ökologen bei ökonomischen Maßnahmen in der Landschaft. Dazu kommen Information und Volksbildung als wichtige Faktoren im Kampf um eine gesündere Umwelt.

Auch dieses Heft soll Beitrag sein zur Erreichung der gesetzten Ziele.

U M W E L T

SCHRIFTENREIHE FÜR ÖKOLOGIE UND ETHOLOGIE

Christian-Dietrich Schönwiese
Siegfried Schwarzl

Klimaänderung/CO₂/Ozon

6. Tagung des
wissenschaftlichen Beirates



Zu den Autoren

Univ.-Professor Dr. Christian-Dietrich Schönwiese, geb. am 07. 10. 1940

Studium der Meteorologie und Promotion in München. Nach Wetterdiensttätigkeit seit 1981 Professor für Meteorologische Umweltforschung an der Universität Frankfurt/Main. Forschungsschwerpunkte: Analyse der jüngeren globalen Klimageschichte, Unterscheidung natürlicher von anthropogenen Klimafaktoren, klimatisch-biologische Umweltprobleme.

Prof. Dr. Siegfried Schwarzl,
geb. am 13. 5. 1916 in Czechowitz (ehem. österr. Schlesien)

Studium der Meteorologie an den Universitäten Wien und Innsbruck. Diplom rer. nat. 1944 (Wien), Promotion zum Doktor der Naturwissenschaften 1949 (Wien). – Studium der Musik: Abschluß mit Auszeichnung 1938 (Hochschule f. Musik Wien)

Hauptberuflich Musiker der Staatsoper Wien (Pension). Wissenschaftl. Schwerpunkte: Klima- und Klimaschwankungen, Hochwasserforschung, Bauklimatologie. – Zahlreiche Veröffentlichungen in Fachzeitschriften – Vorträge im In- und Ausland (USA–Japan–Israel u. a.)



Weltweite anthropogene Klimaänderungen: Fakten, Unsicherheiten und offene Fragen

Christian-D. Schönwiese, Universität Frankfurt/Main

Zusammenfassung

Zweifellos führen die vielfältigen menschlichen Aktivitäten in weltweit ständig steigendem Ausmaß zur Emission klimawirksamer Spurengase in die Atmosphäre und als Folge davon muß sich auch das globale Klima ändern. Unsicher aber sind die Klimamodell-Aussagen dazu, und zwar generell in quantitativer sowie regionaler Hinsicht und speziell was die über die Temperatur hinausgehenden Klimaelemente betrifft. Es ist daher wichtig, auch in den Daten der Klimageschichte nach anthropogenen Klima-Signalen zu suchen. Jedoch besteht dabei die Unsicherheit der Trennung natürlicher von anthropogenen Klimaeffekten. Trotz dieser Unsicherheiten, aus denen viele offene Fragen resultieren, führen Risikoabschätzungen und das Prinzip der Verantwortung zur Forderung nach baldigen und internationalen Klimaschutz-Maßnahmen.

1. Einführung

Die wissenschaftliche Warnung vor weltweiten anthropogenen Klimaänderungen ist nicht neu. Nachdem der französische Physiker und Mathematiker J. Fourier (1827) sowie der irische Physiker J. Tyndall (1861) den Zusammenhang zwischen atmosphärischer Kohlendioxid (CO_2) – Konzentration und Klima, den natürlichen „Treibhauseffekt“, bereits qualitativ richtig erkannt hatten, war es wohl der schwedische Physiker und Chemiker S. Arrhenius (1886), der als erster auf die Gefahren der Nutzung fossiler Energie und die damit verbundene CO_2 – Emission in die Atmosphäre hingewiesen hat, weil dadurch der natürliche „Treibhauseffekt“ verstärkt wird, was weltweite Klimaänderungen zur Folge haben muß. Seit jener Zeit führt eine Kette wissenschaftlicher Befunde und Warnungen bis in unsere Zeit^{8) 13)}

Spätestens 1979, als die erste UN-Weltklimakonferenz einen Appell an alle Nationen der Welt richtete, mögliche anthropogene Klimaänderungen nicht nur vorherzusehen, sondern auch zu verhindern, wurde die Warnung vor solchen Änderungen zum internationalen Anliegen der Klimatologie. Im Jahr 1987 hat der deutsche Bundestag die Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ ins Leben gerufen; seit 1991 ist die Nachfolgekommission „Schutz der Erdatmosphäre“ tätig⁹⁾ Die Medien, die das Thema unter den Schlagworten „Klimakatastrophe“ u.ä. vor einigen Jahren zum Teil sehr panikartig aufgegriffen haben, berichten nun aller-

dings auch über Gegenpositionen, die alle Klimawarnungen in Zweifel zu ziehen scheinen. Hinzu kommen dubiose, pseudowissenschaftliche Publikationen. Diese Extrempositionen müssen in der Öffentlichkeit zu Irritationen führen, zumal es dabei häufig zu Fehlinterpretationen und Widersprüchen kommt. Eine wissenschaftliche Bestandsaufnahme muß dagegen versuchen, Fakten, Unsicherheiten und offene Fragen klar auseinanderzuhalten.

Eine solche Bestandsaufnahme ist in einer vielleicht beispiellosen Aktion durch die wissenschaftliche Arbeitsgruppe des Intergovernment Panel on Climate Change (IPCC[®]) vorgenommen worden. Dabei entstand, in bemerkenswertem Konsens, eine Art „Klimabibel“, welche die Grundlage für die zweite UN-Weltklimakonferenz (Genf, Okt./Nov. 1990) und die zweite UN-Umweltkonferenz (UN Conference on Environment and Development, UNCED, Rio de Janeiro, Juni 1992) gebildet hat. Der folgende Beitrag beruht weitgehend auf dieser Bestandsaufnahme, bezieht aber auch einige weitere Ergebnisse zur Analyse von Beobachtungsdaten mit ein.

2. Emission und Konzentrationsanstieg klimawirksamer Spurengase

Kein Zweifel kann daran bestehen, daß der Mensch durch vielfältige Aktivitäten die Zusammensetzung der Atmosphäre ändert. Dies geschieht aufgrund der steigenden Nutzung von Primärenergie, einschließlich Verkehr, landwirtschaftlicher und industrieller Produktion sowie Konsum. Es ist bemerkenswert, daß seit 1900 die Weltbevölkerung etwa um den Faktor 2,5 zugenommen hat (1992 ca. 5,4 Milliarden), die Weltprimärenergienutzung aber um mehr als den Faktor 10 (1992 rund 12 Gt SKE, d.h. Milliarden Tonnen Steinkohle¹einheiten). Da derzeit 91 % der Weltprimärenergienutzung fossilen Ursprungs sind, d.h. auf der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas beruhen, ist dadurch immer mehr Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid (CO₂) in die Atmosphäre emittiert worden. Der Schätzwert für 1991 beträgt 6 Gt C, was ca. 22 Gt CO₂ entspricht. Eine weitere, aber überwiegend indirekte Quelle für diese CO₂-Emissionen, die bei schätzungsweise 1,5 Gt C (mit erheblicher Unsicherheit dieser Schätzung) liegt, stellen die Waldverluste dar, insbesondere die Rodungen des tropischen Regenwaldes. Das bereits genannte IPCC schätzt die gesamte CO₂-Emission des Jahres 1991, einschließlich Holzverbrennung, auf 29 Gt CO₂, was ca. 8 Gt C entspricht; vgl. Tab. 1 und 2. Die Folge war ein aus Abb. 1 ersichtlicher Konzentrationsanstieg des atmosphärischen CO₂ von vorindustriellen Werten um 280 ppm auf 355 ppm im Jahr 1991. Dabei hat bisher der Ozean jedes Jahr etwa die Hälfte der anthropogenen CO₂-Emissionen aufgenommen (physikalisch im Meerwasser und biologisch in pflanzlichen Organismen, dem Phytoplankton). Ohne diese „Hilfestellung“ des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs wäre der atmosphärische Konzentrationsanstieg noch wesentlich größer gewesen.

Tabelle 1: Einige atmosphärische Charakteristika von Spurengasen (O_3 nur unter Atmosphäre), die anthropogen emittiert werden; ppm = 10^{-6} , ppb = 10^{-9} Volumenanteile; Mt = 10^6 t (Tonnen), Gt = 10^9 t; Namen der Gase siehe Tab. 3; nach IPCC, Houghton et al., ergänzt.

„Treibhausgas“	anthropogene Emission*	derzeitige* (und vorind.) Konzentr.	mittlere Verweilzeit	rel. mol. THP**
CO ₂	29 Gt a ⁻¹	335 (280) ppm	5 – 10 Jahre***	1
CH ₄	400 Mt a ⁻¹	1,7 (0,8) ppm	10 Jahre	11
FCKW-11 -12	} 1Mt a ⁻¹	0,25 (0) ppb	55 Jahre	3400
		0,45 (0) ppb	115 Jahre	7100
N ₂ O	10 Mt a ⁻¹ (?)	0,31 (0,29) ppm	130 Jahre	270
O ₃	0,5 Gt a ⁻¹ (?)	15 – 50 (?) ppb	1 – 3 Monate	?

* 1991 ** relatives molekulares Treibhauspotential bei Annahme eines 100-Jahre-Zeithorizonts *** aber anthropog. Störungszeit 50 – 200 J.

Tabelle 2: Gesamteffekt (anthropogener Zusatz-„Treibhauseffekt“) und Quellen-Aufschlüsselung (prozentual) der Emissionen zu den in Tab. 1 angegebenen Spurengasen; bei den Gesamtemissionen sind auch die entsprechenden Kohlenstoff (C) – bzw. Stickstoff (N) – Äquivalente angegeben; nach IPCC, Houghton et al., 1992, u.a.

Jeweiliger Gesamteffekt	„Treibhausgas“	Anthropogene Gesamtemission	Quellen (Aufschlüsselung)
61 %	CO ₂	29 ± 6 Gt (8 Gt C)	75 % foss. Energie 20 % Waldrodungen 5 % Holzverbrennung
15 %	CH ₄	360 ± 200 Mt (270 Mt C)	28 % foss. Energie 22 % Viehhaltung 17 % Reisanbau 11 % Biomasse-Verbr. 8 % Landnutzung 7 % Müllhalden 7 % Abwasser
11 %	FCKW (CFK)	≈ 1 Mt	Sprühdosen, Kältetechnik, Dämm-Mat., Reinigung
4 %	N ₂ O	10 ± 8 Mt (3 Mt N)	44 % Bodenbearbeitung 22 % Düngung 15 % Nylon-Produktion 10 % foss. Energie 9 % Biomasse-Verbr.
9 %	O ₃ H ₂ O	0,5 Gt (?) ?	Verkehr, foss. Energie u.a. Flugverkehr

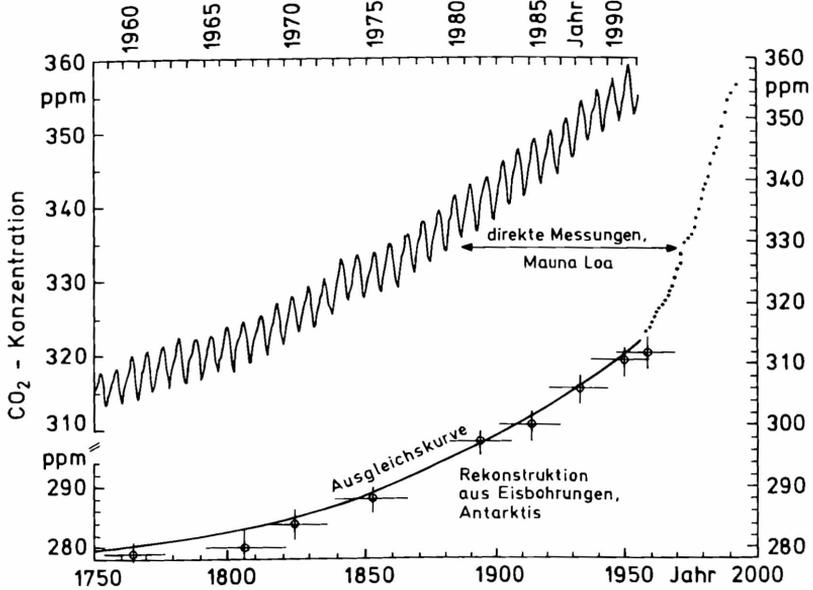


Abbildung 1: Anstieg der atmosphärischen Kohlendioxid (CO_2) – Konzentration nach Messungen auf dem Mauna Loa, Hawaii (1958 –1991, Punkte bzw. oben Monatswerte; nach Keeling, 1989, 1992) sowie nach Eisbohrrekonstruktionen (Antarktis, Kreis mit in Kreuzform angegebenen Unsicherheitsbereichen; nach Neftel et al., 1985; Ausgleichskurve nach Schönwiese, 1992).

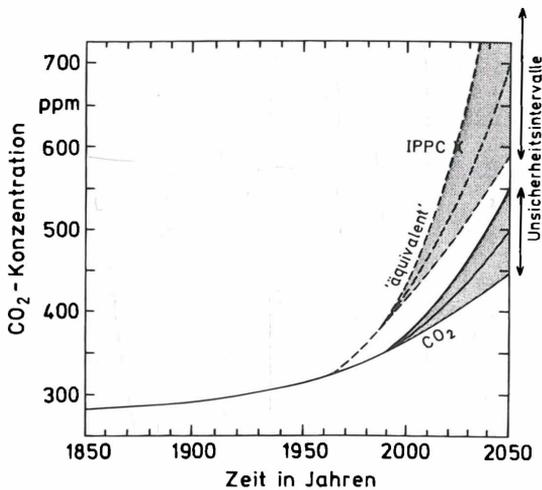


Abbildung 2: Gemessener bzw. rekonstruierter (vgl. Abb. 1) sowie mittels Trendfortschreibung extrapolierter Anstieg der atmosphärischen CO_2 Konzentration, verglichen mit den im Text beschriebenen CO_2 Äquivalenten; verschiedene Primärquellen, IPCC-Schätzung für 2025 in Kreuzform vermerkt, hier nach Schönwiese, 1992.

Solche Zusammenhänge zwischen Emissionen und atmosphärischen Konzentrationen erfassen Stoff-Flußmodelle (in diesem Fall C-Fluß), bei denen jedoch derzeit eine Diskrepanz von ca. 1 – 2 Gt C pro Jahr in der Bilanzierung besteht (fehlende Senke; Ozean bzw. Biosphäre nehmen mehr CO₂ auf als in solchen Modellen geschätzt).

Nun ist CO₂ keineswegs das einzige klimawirksame Spurengas, dessen atmosphärische Konzentration aufgrund menschlicher Aktivitäten zunimmt. In Tab. 1 sind daher auch einige Informationen über die wichtigsten weiteren anthropogen direkt beeinflussten klimawirksamen Spurengase zusammengestellt; Aufschlüsselung der Emissionen siehe Tab. 2. Um sich komplizierte Einzelbetrachtungen zu ersparen, ist es üblich, die über CO₂ hinausgehenden Spurengase in sog. CO₂-Äquivalenten anzugeben, d.h. in zusätzlichen fiktiven CO₂-Konzentrationswerten, die der Klimawirksamkeit dieser Gase entsprechen. Wie Abb. 2 zeigt, ist diese Unterscheidung ab ca. 1960/1970 relevant; d.h. seit dieser Zeit treten die über CO₂ hinausgehenden klimawirksamen Spurengase quantitativ merklich in Erscheinung.

Der Blick in die Zukunft ist aus verständlichen Gründen sehr unsicher. Bei Anwendung einfacher Trendfortschreibungen (sog. Szenario A des IPCC = „businessas-usual“) erhält man ungefähr den ebenfalls in Abb. 2 dargestellten Verlauf, mit einer atmosphärischen CO₂-Verdopplung in grob geschätzt 100 Jahren. Für die Klimawirksamkeit ist nun aber weniger diese CO₂-Verdopplung als vielmehr eine Situation von Interesse, die unter Hinzunahme der weiteren klimawirksamen Spurengase einer solchen Verdopplung entspricht. Wie Abb. 2 zeigt, könnte dies bei Fortschreibung der derzeitigen Trends grob geschätzt um das Jahr 2030 (nach IPCC⁸⁾ um das Jahr 2025) der Fall sein.

3. Vorhersagen der Klimamodellrechnungen

Welche Konsequenzen wird eine solche Entwicklung nun für das Klima der Erde haben? Um diese Frage zu beantworten, muß zunächst die physikalische Ursache für die Klimawirksamkeit der diskutierten Spurengase genannt sein: Es ist die Eigenschaft dieser Gase, die Wärmeausstrahlung der Erdoberfläche in ganz bestimmten Wellenlängenbereichen zu absorbieren und zum Teil dorthin zurückzustrahlen, und dies ohne Kompensation durch entsprechende Absorption der Sonneneinstrahlung. Dieser „Treibhauseffekt“¹⁶⁾, und zwar zunächst der natürliche, ist überaus effektiv und hat zu einer Erhöhung der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur von ca. –18 °C (ohne Treibhausgase) auf ca. +15 °C geführt. (Alternative Schätzungen geben etwa die Hälfte dieser Spanne an, was immer noch sehr viel ist.) Daran ist als wichtigstes natürliches Treibhausgas der Wasserdampf mit 62 %, CO₂ mit 22 % beteiligt; vgl. Tab. 3. Dagegen hat bei der anthropogenen Ver-

stärkung dieses Effektes, die bisher ca. 0,5 – 1 °C beträgt (nähere Diskussion in Abschnitt 4), CO₂ eindeutig dominiert (61 % nach IPCC⁸⁾; Tab. 3).

Bei den derzeit besten und somit relativ verlässlichsten Klimamodellrechnungen zum anthropogenen Spurengasproblem handelt es sich um Approximationen, welche die dreidimensionalen Bewegungsvorgänge der Atmosphäre in einem Gitterpunktnetz (typischer Gitterpunktabstand ca. 500 km) und in mehreren Schichten bis in die Stratosphäre hinein simulieren (general circulation model, GCM). Sie sind mit einem Ozeanmodell gekoppelt und berücksichtigen außerdem, allerdings in stark vereinfachter Form, das Verhalten der Eisgebiete der Erde (Kryosphäre), was z.B. zur Abschätzung von Meeresspiegeländerungen unerlässlich ist. Nur solche Modelle sind in der Lage, alle wesentlichen Klimaelemente (Temperatur, Niederschlag usw.) und deren regionale Verteilung zu simulieren; das ist ihre Stärke. Die Schwächen und somit Unsicherheiten liegen beim hydrologischen Zyklus (Wolken, Niederschlag usw.), beim Meereis, der zunächst nicht berücksichtigten Biosphäre sowie generell bei der begrenzten räumlichen Auflösung und der fragwürdigen Wiedergabe der vielen Rückkopplungen.

Immerhin werden diese Modelle zunächst in einem „Kontrollexperiment“ auf ihre Fähigkeit hin getestet, das derzeitige Klima hinreichend korrekt wiederzugeben, bevor an Prognosen herangegangen wird. Prinzipiell ist zwischen „Gleichgewichts“- und „transienten“, d.h. zeitabhängigen Simulationen zu unterscheiden, obwohl man nicht genau weiß, wie groß die Verzögerungszeit zwischen dem Spurengas-Konzentrationsniveau und der Klimareaktion ist; denn tatsächlich ist das Klima nie im Gleichgewicht mit seinen Antriebsmechanismen, und im Fall der reinen bzw. äquivalenten CO₂-Konzentration dürfte die Verzögerung nach Modellabschätzungen in der Größenordnung von einigen Jahrzehnten liegen.

Die Unsicherheit ist somit, auch wegen der diversen Rückkopplungen, erheblich und erlaubt derzeit keine genauere Aussage als ca. 1,5 – 5 °C Erhöhung der bodennahen Weltmitteltemperatur (IPCC⁸⁾) bei einer Verdopplung der atmosphärischen CO₂Konzentration und Gleichgewichtsreaktion des Klimas auf diesen menschlichen Eingriff. Zugehörige transiente Abschätzungen, d.h. bezüglich des zeitlichen Verlaufes der Temperaturänderungen, sind in Abb. 3 zu sehen. Als „Bestschätzung“ bei Trendfortschreibung erwartet das IPCC im Jahr 2025 eine gegenüber heute um ca. 1 °C und gegenüber dem vorindustriellen Niveau um ca. 2 °C höhere globale Mitteltemperatur, einschließlich des Unsicherheitsbereiches ca. 1 – 3 °C. Im Jahr 2100 landet die „Bestschätzung“ dieser Trendfortschreibung 4 – 5 °C oberhalb des vorindustriellen Niveaus. Ein Klima mit einer so hohen Temperatur hat es zuletzt vor ca. 10 Millionen Jahren (ca. +4 °C) gegeben.

Tabelle 3: Prozentualer Vergleich des natürlichen mit dem anthropogenen Zusatz- „Treibhauseffekt“ in der Aufteilung auf die einzelnen Spurengase; nach IPCC, Houghton et al., 1992, ergänzt.

„Treibausgas“	Beitrag zum „Treibhauseffekt“	
	natürlich **	anthropogene Verstärkung ***
Kohlendioxid, CO ₂	22 %	61 % (jeweils 100 Jahre Zeithorizont)
Methan, CH ₄	2,5 %	15 %
FCKW*	–	11 %
Distickstoffoxid, N ₂ O	4 %	4 %
Ozon, O ₃	7 %	} 9 % (unsicher)
Wasserdampf, H ₂ O	62 %	
Weitere	2,5 %	

* Fluorchlorkohlenwasserstoffe (engl. korrekter CFC = chlorofluorocarbons = CFK = Chlorfluorkohlenstoffe oder Chlorfluormethane (FCKW-11: CFC₁₁, FCKW-12: CF₂Cl₂) ** 33 °C (alt. 15 – 20 °C) *** 0,5 – 1 °C, unsicher

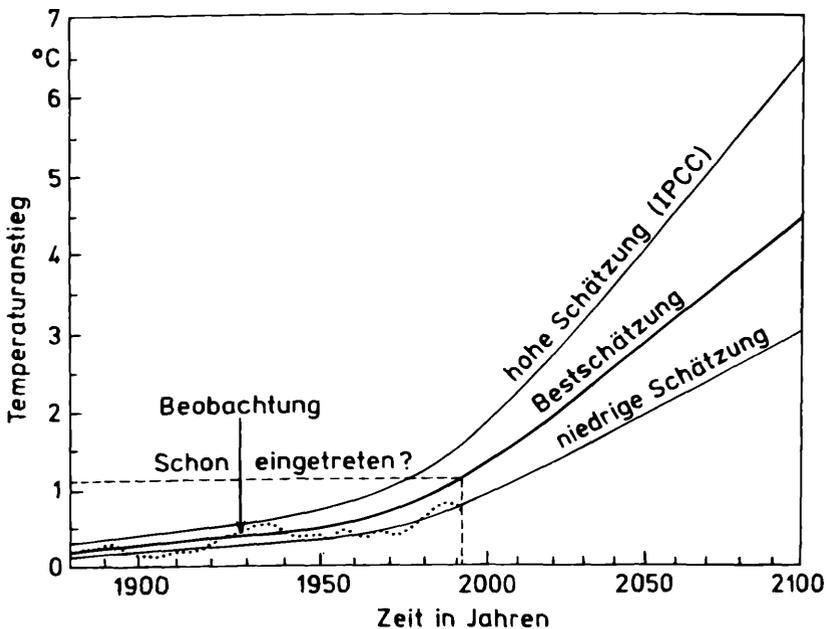


Abbildung 3: Transiente, d.b. zeitabhängige Simulation des global und jährlich gemittelten bodennahen Lufttemperaturanstiegs bei IPCC-Trendfortschreibung der äquivalenten CO₂-Konzentration; nach IPCC, Houghton et al., 1990, 1992).

Bei regionalen Aussagen und anderen Klimatelementen als der Lufttemperatur sind die Klimamodelle derzeit noch mehr überfordert. Trotzdem sollen die wichtigsten Modellerwartungen kurz genannt sein:

- bodennahe Temperaturerhöhung von den Tropen in Richtung gemäßigter und subpolarer Breiten ansteigend, dies jedoch auf den Winter (vielleicht auch Frühjahr und Herbst) beschränkt, wo einige Modelle über 10 °C anzeigen (Nordhemisphäre). Der Erwärmung der bodennahen Atmosphäre steht eine vermutlich quantitativ noch ausgeprägtere Abkühlung der Stratosphäre gegenüber.
- Meeresspiegelanstieg, dies jedoch überwiegend als Expansionseffekt des (oberen) Mischungsschichtozeans. Die erwarteten „Bestwerte“ für das Jahr 2030 werden derzeit bei 20 cm Anstieg (Unsicherheit um 10 cm) gegenüber dem heutigen Niveau gehandelt (IPCC).
- Im globalen Mittel Zunahme von Verdunstung, Luftfeuchte und Niederschlag, in Zusammenhang mit Änderungen der atmosphärischen Zirkulation sowie der thermischen Schichtung aber markante regionale Umverteilung des Niederschlags. Dabei sind die Vorhersagen von weniger Niederschlag in den Subtropen (einschließlich Mittelmeerraum) gegenüber einer Niederschlagszunahme in mittleren bis polaren Breiten am wahrscheinlichsten.

Hinzu kommen möglicherweise Intensitäts- und Häufigkeitszunahmen von tropischen Wirbelstürmen und anderen extremen Wettererscheinungen, die im einzelnen aber noch sehr unsicher sind.

4. Analyse der Beobachtungsdaten

Angesichts der Unsicherheiten der Klimamodellrechnungen zum „Treibhaus“-Problem (anthropogener Zusatzeffekt) ist es zweifellos erforderlich, auch in den Klima-beobachtungsdaten nach den entsprechenden „Signalen“ zu suchen. Dabei besteht die Schwierigkeit, daß diese Daten die ganze Vielfalt der in der Klimageschichte wirksamen Mechanismen widerspiegeln, und zwar der anthropogenen wie der natürlichen. Die Situation ist allein deswegen nicht hoffnungslos, weil die Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Größenordnung der zur Debatte stehenden Effekte eine gewisse Auswahl zuläßt. Danach haben als natürliche Konkurrenten des anthropogenen Zusatz-„Treibhauseffektes“ zu gelten: Vulkanismus^{3) 14)}, Sonnenaktivität¹⁷⁾, ENSO (El Niño-/Southern-Oscillation-Phänomen¹⁾) und weitere, zum Teil stochastische atmosphärisch-ozeanische Wechselwirkungen; anthropogen müssen vor allem „Stadtklimaeffekte“, die Sulfatanreicherung der unteren Atmosphäre (Troposphäre) und indirekte Folgen des stratosphärischen Ozonabbaus berücksichtigt werden.

Es würde nun viel zu weit führen, alle diese „Treibhaus“-Konkurrenten hier zu diskutieren (vgl. dazu^{8), 13), 16)}). Statt dessen soll anhand der Abbildungen 4 und 5 eine

Möglichkeit des weiteren Vorgehens in Ihrem Ergebnis vorgestellt werden. Dabei zeigt Abb. 4 die sog. Jahresanomalien, 10jährig geglättete Werte und den linearen Langfristtrend der bodennahen Weltmitteltemperatur, der für 1861 – 1990 exakt $0,5\text{ °C}$ beträgt und somit an der unteren Grenze der in Abb. 3 gezeigten Modellvorhersagen liegt. Ein solcher Vergleich ist aber nicht korrekt, da in solchen Modellvorhersagen die genannten „Treibhaus“-Konkurrenten gar nicht berücksichtigt sind. Daher ist in Abb. 5 ein statistisches Regressionsmodell¹⁵⁾ auf die nordhemisphärische Mitteltemperatur (hier wieder 10jährig geglättete Daten) angewandt, das offenbar in der Lage ist, unter Einbezug vulkanischer, solarer und ENSO-Einflüsse die beobachteten Variationen in guter Näherung zu reproduzieren. Der daraus errechnete anthropogene „Treibhaus“ Zusatz-Effekt liegt hemisphärisch (gepunktete Kurve in Abb. 5) und global bei ca. $0,6 - 0,8\text{ °C}$ (bei Anwendung verschiedener Hypothesen über natürliche Klimamechanismen), somit über dem insgesamt beobachteten Trend. Abb. 6 zeigt dazu schließlich einen Vergleich einer auf diese Weise gefundeten Extrapolation zum IPCC-Spurengastrend-Szenario mit einer weitaus aufwendigeren Klimamodellrechnung des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg⁴⁾). Im Rahmen der erreichbaren Genauigkeit ist der Übereinstimmungsgrad durchaus bemerkenswert. Dies alles bedeutet, daß es durchaus möglich ist, auf der Grundlage der Klimabeobachtungsdaten und unter Einfluß verschiedener Klimafaktoren Hypothesen zum anthropogenen Zusatz „Treibhauseffekt“ zu entwickeln, die einigen auf physikalischer Grundlage gewonnenen Ergebnissen der Klimamodellrechnungen sehr ähnlich sind. Dies gilt im übrigen auch für die jahreszeitlich und nach der geographischen Breite aufgeschlüsselten derartigen Temperatur-„Signale“

Eine ganze Reihe weiterer Indizien aus Klimabeobachtungsdaten, die hier nur teilweise erwähnt werden können, stehen zumindest nicht im Widerspruch zu den genannten Klimamodellrechnungen. Dazu gehören z.B. eine Abkühlung der Stratosphäre, der Meeresspiegelanstieg (ca. $10 - 25\text{ cm}$ im Globalmittel der letzten rund 100 Jahre), nordhemisphärische Niederschlagsabnahmen südlich ca. 45 °N und polwärts Zunahme (allerdings mit erheblichen jahreszeitlichen und regionalen Besonderheiten^{6), 18)}, eine Feuchtezunahme in Teilbereichen der tropischen Troposphäre⁷⁾, sowie eine Zunahme der Tornadohäufigkeit in den USA seit 1953¹⁹⁾ und der Sturmtiefereignisse im atlantisch-europäischen Raum (seit 1930, allerdings schwer interpretierbar¹²⁾).

5. Folgerungen und offene Fragen

Die Fakten der anthropogenen Spurengasemissionen und prinzipiellen physikalischen Folgen für die Atmosphäre (Verstärkung des „Treibhauseffektes“), die weit-

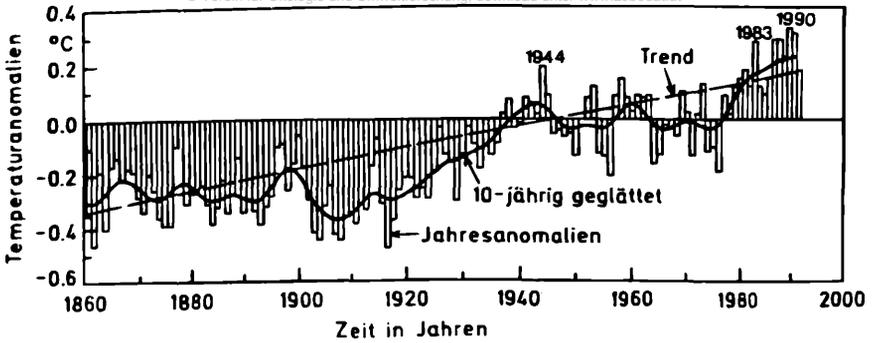


Abbildung 4: Jahr-zu-Jahr-Variationen (Anomalien, d.h. Abweichungen vom Referenzintervall 1951 – 1980) 1861 – 1992, zehnjährige Glättung und Trend (1861 – 1990, gestrichelt) der bodennahen Weltmitteltemperatur (Land- und Ozeangebiete); Datenquelle IPCC, Houghton et al., 1992, ergänzt nach Jones et al., Analyse Schönwiese, 1993.

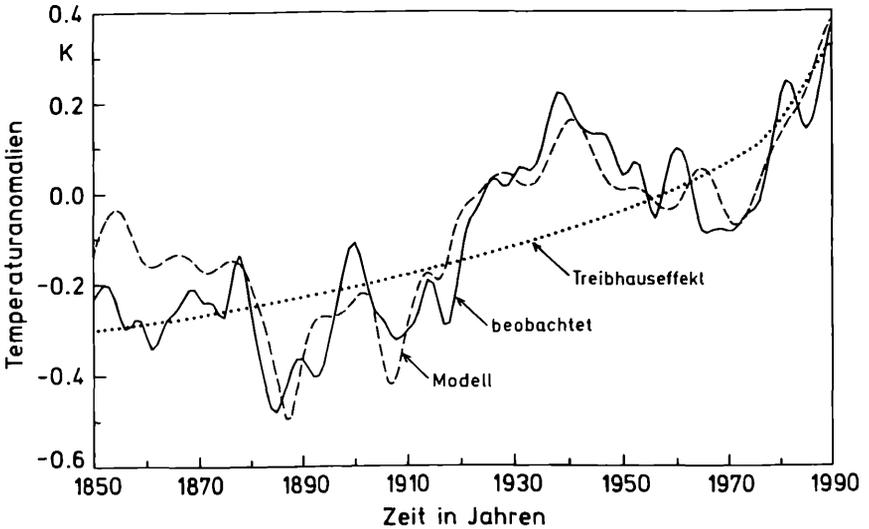


Abbildung 5: Beobachtete nordhemisphärisch gemittelte Variationen (Anomalien) 1850 – 1990 der bodennahen Lufttemperatur; zehnjährig geglättet, ausgezogene Kurve, Reproduktion mit Hilfe des „Frankfurter statistischen Klimamodells“ (multiples Regressionsmodell mit Einbezug natürlicher Klimaschwankungen), gestrichelt, und daraus errechneter anthropogener Zusatz-„Treibhauseffekt“; gepunktet; nach Bayer und Schönwiese, 1992, bzw. Schönwiese, 1993.

Kohlendioxid-Äquivalente, Szenario A

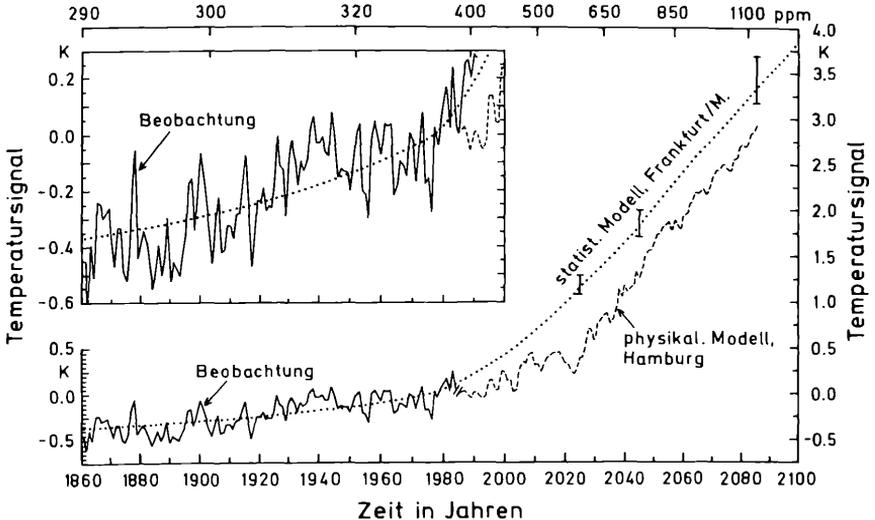


Abbildung 6: Beobachtete Jahresanomalien der bodennahen Weltmitteltemperatur (ähnlich Abb. 4, relativ zu 1985) 1880 – 1985, ausgezogen (im oberen Bildteil vergrößert und bis 1990), und „Treibhauseffekt“-Simulation (IPCC-Trendfortschreibung der äquivalenten CO_2 -Konzentration) mit Hilfe des Hamburger Klimamodells (Atmosphäre-Ozean-Zirkulationsmodell, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Cubasch et al., 1991), gestrichelt (1985 – 2085) und entsprechende Schätzung mit Hilfe des „Frankfurter statistischen Klimamodells“ (Bayer und Schönwiese, 1992), gepunktet (einschließlich in Balkenform angegebener Unsicherheitsbereiche).

gehende Kongruenz einiger Klimamodellrechnungen mit einigen Hypothesen aus der statistischen Analyse von Klimabeobachtungsdaten, einschließlich der Wahrscheinlichkeit, daß die bodennahe Erdmitteltemperatur anthropogen bereits um mehr als $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ angehoben worden ist, und die Zeitverzögerung (einiger Jahrzehnte) zwischen menschlichen Eingriffen und der Reaktion des Klimasystems lassen es als dringend erforderlich erscheinen, angesichts von Wahrscheinlichkeiten trotz Unsicherheiten zu handeln. Ein zentraler Bereich ist dabei sicherlich das CO_2 -Problem und dabei speziell der Energiebereich. Zur Stabilisierung des Klimas empfiehlt das IPCC⁸⁾ eine Reduktion der weltweiten CO_2 -Emission um mindestens 60 %, woraus die zuständige Enquête-Kommission des deutschen Bundestages⁵⁾ für die Industrieländer folgerichtig eine 80 %-Reduktion abgeleitet hat. Als erster Schritt werden in Deutschland bekanntlich 25 – 30 % bis zum Jahr 2005 angestrebt (aber wohl nicht erreicht).

Neben diesem Handlungsbedarf muß weitere intensive Forschung zur Klärung der offenen Fragen beitragen, insbesondere bezüglich folgender Problemkreise (Auflistung nur bruchstückhaft): Bilanzierung der Kohlenstoff-Flüsse im Klimasystem

(Quellen/Senken im Ozean und der Biosphäre), Rolle des hydrologischen Zyklus (Wolken, Niederschlag) und des Meereises in Klimamodellen, Klärung der diversen Rückkopplungen (auch mit der Biosphäre) und Verbesserung der räumlichen Auflösung in solchen Modellen (Beantwortung der Frage nach den regionalen Klimaeffekten), Klärung der Rolle der natürlichen Klimavariationen und deren Überlagerung mit den anthropogenen Effekten, dazu verbesserte statistische Analyse der Beobachtungsdaten und Hypothesenentwicklung mit Hilfe vereinfachter (deterministischer und statistischer) Modelle; Abschätzung der ökologischen und sozioökonomischen Folgen von Klimaänderungen.

Literatur

Arntz, W.E. und Fahrbach, E.: El Niño. Birkhäuser, Basel 1991

Bayer, D. und Schönwiese, C.-D.: Hypothetical explanation of natural and anthropogenic temperature variations with a nonlinear multiple regression model. Proceedings 5th Internat. Meeting Statist. Climatol., Toronto (1992), pp. 11-14.

Cress, A. und Schönwiese, C.-D.: Vulkanische Einflüsse auf die bodennahe und stratosphärische Lufttemperatur der Erde. Frankfurt/M. 1990 (Bericht Nr. 82 Inst. Meteorol. Geophys.).

Cubasch et al.: Time-dependent greenhouse warming computations with a coupled oceanatmosphere model. Hamburg 1991 (Report No. 67 Max-Planck-Institut für Meteorologie).

Deutscher Bundestag: Berichte der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ (3 Bände: Schutz der Erdatmosphäre, Schutz der Tropenwälder, Schutz der Erde); Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Erster Zwischenbericht der Enquête-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ Economica/C.F. Müller, Bonn 1990, 1992.

Diaz, H.F., et al.: Precipitation fluctuations over global land areas since the late 1800's. J. Geophys. Res. 94 (1989), 1195-1210.

Flohn, H., et al.: Trends of tropospheric temperature and water vapour in the Indo-Pacific region during the last 20 years. Trop. Oc. Atm. Newslett. 38 (1987), 11 -13.

Houghton, J. T., Jenkins, G.J. and Ephraums, J.J. (eds.): Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge Univ. Press, Cambridge 1990; Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge 1992.

Jones, P. D., Wigley, T. M. L., and Farmer, G.: Marine and land temperature data sets: a comparison and a look at recent trends. In Schlesinger, M.E. (ed.): Greenhouse-Gas-Induced Climatic Change. Amsterdam (1991), pp. 153-172 (and pers. comm.).

¹⁰⁾ Keeling, C.D.: Pers. comm. (1989, 1992).

Nefel, A., Moor, E., Oeschger, H. und Stauffer, B.: Evidence from polar ice cores for the increase in atmospheric CO₂ in the past two centuries. Nature 315 (1985), 45-47.

Schinke, H.: Zum Auftreten von Zyklonen mit Kerndrücken ≤ 990 hPa im atlantischeuropäischen Raum von 1930 bis 1991. Berlin 1992. (Spezialarbeit Nr.1, Meteorologisches Inst. Humboldt-Universität).

Schönwiese, C.-D.: Klima im Wandel. DVA, Stuttgart 1992; Rowohlt, Reinbek 1994.

Schönwiese, C.-D.: Vulkanismus und Klima. VDI-Bericht Nr. 1016 (1992), 35-49.

Schönwiese, C.-D.: Das Frankfurter statistische Klimamodell. Konzept und Ergebnisse. Naturwiss. Rdsch. 46 (1993), 215-222.

Schönwiese, C.-D. und Diekmann, B.: Der Treibhauseffekt. Der Mensch ändert das Klima. Rowohlt, Reinbek (4. Aufl.) 1991.

Schönwiese, C.-D., Ullrich, R., und Beck, F.: Solare Einflüsse auf die Lufttemperaturvariationen der Erde in den letzten Jahrhunderten. Frankfurt/M. 1992 (Bericht Nr. 92 Inst. Meteorol. Geophys.).

Schönwiese, C.-D., Rapp, J., Fuchs, T., und Denhard, M.: Klimatrend-Atlas Europa 1891 – 1990. Frankfurt/M. 1993 (Bericht Nr. 20 Zentrum für Umweltforschung).

WMO (World Meteorological Organization): Climate System Monitoring Dec. 1988-May 1991. WMO, Geneva 1992.

IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change, s. Houghton et al.

Klima, Klimaschwankungen und Mensch

Siegfried SCHWARZL, Wien

Zusammenfassung:

Bevor auf die Klimaschwankungen der letzten Jahrhunderte eingegangen wird, wird ein kurzer Überblick über die unterschiedliche Sonneneinstrahlung gegeben, ihre Abschwächung durch die Atmosphäre (wichtigste absorbierende Gase: Ozon, CO₂ und H₂O), die Klimagürtel der Erde, ihre Windsysteme (Windgürtel am Boden und Vertikalzirkulation) und die daraus resultierende Niederschlagsverteilung. – Getrennt werden dann an Hand der Auswirkungen auf den Menschen und in der Natur (Hungersnöte, Ende des Goldbergbaues in den Tauern, Vergletscherung der Alpen, Vorstoß und Rückzug des Polareises etc.):

A: die Erwärmung seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts,

B: die Kleine Eiszeit und

C: die Klimaverschlechterung Ende des 16ten Jahrhunderts (Beginn der Kleinen Eiszeit) behandelt und versucht, mögliche Ursachen hierfür zu finden. – Schließlich wird das Problem aufgerollt, ob und wie weit der Mensch selbst in das Klimageschehen eingreifen kann (Ozonloch, „Treibhauseffekt“); wobei festgestellt werden mußte, daß es bisher keinerlei eindeutige und sichtbare Hinweise gibt, die darauf schließen ließen, daß überhaupt ein solcher Einfluß auf das Weltklima besteht. Vor allem muß der Umstand als gegeben hingenommen werden, daß das CO₂ nicht nur für den Treibhauseffekt, sondern in gleichem Maße für die Abschwächung der eingestrahnten Sonnenenergie verantwortlich ist, daß sich daher diese Effekte, zumindest zu einem Großteil in ihrer Auswirkung aufheben. So ist es zu verstehen, daß beim Wechsel von Warm- und Kalt- (Eis-)zeiten die Konzentration des CO₂ parallel verlief, sie bei hohen Temperaturen groß, bei tiefen gering war. – Andererseits kann das Ozonloch nur in seinem unmittelbaren Umkreis für eine Erhöhung der UV-Strahlung verantwortlich gemacht werden (geradlinige Strahlung, keinerlei Übertragungsmöglichkeit auf die weitere Umgebung), es bleibt somit für den übrigen Teil der Erde ohne Bedeutung. – Mit anderen Worten, es wäre notwendig, weit mehr auf die tatsächlichen Schäden hinzuweisen, die durch die Emissionen der modernen Industrielwelt (Waldsterben, absterbende Gewässer, Verseuchung der Meere, Gesundheitsschäden und Zerstörung der Natur überhaupt, usw., usf.) verursacht werden, als sich mit falschen Zukunftsvisionen, die aufgrund einseitiger Modelle errechnet wurden, (Zunahme des CO₂ als Ursache eines Klima-Chaos) irreführen zu lassen.

Einführung:

Das *KLIMA* umfaßt „die Gesamtheit der meteorologischen Erscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgendeiner Stelle der Erdoberfläche kennzeichnen“ (Meyers Lexikon). Die wichtigsten Klimafaktoren sind:

Strahlung
Temperatur
Feuchte
Wind und
Niederschlag

Aber auch komplexe Größen, wie das gleichzeitige Zusammenwirken von Wind und Niederschlag (*Schlagregen*) oder Temperatur, Feuchte und Wind (*Föhn*) sind kennzeichnende Faktoren für das örtliche Klima.

Schwankungen und **Änderungen** dieses mittleren Zustandes (des Klimas) wurden vor allem in klimatischen Randbereichen wahrgenommen. Überall sonst werden sie durch kurzfristige Abweichungen so stark überdeckt, daß sie vom Mensch kaum empfunden werden. Selbst Klimaforschern bot es größte Schwierigkeiten sie auseinander zu halten, solange nicht ausreichend lange Meßreihen vorlagen.

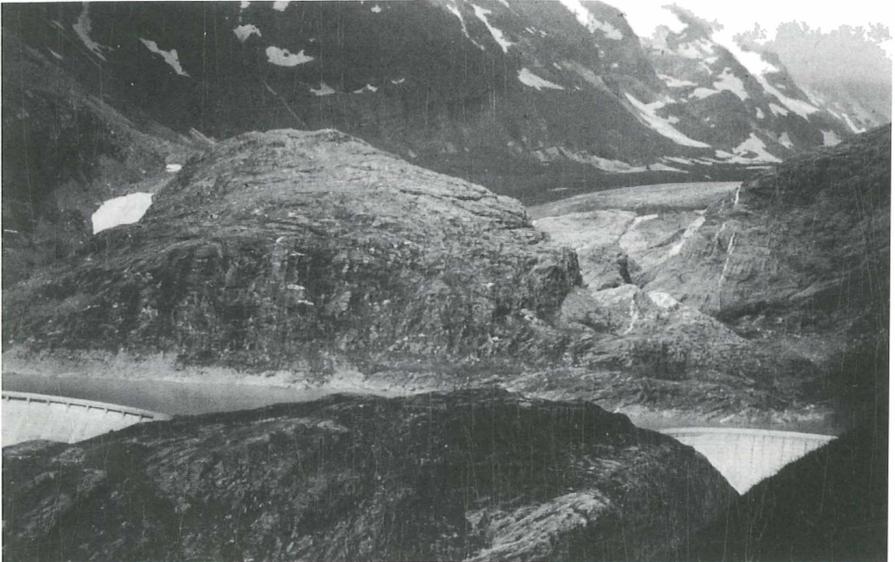


Abb. 1: Die Pasterze am Fuße des Großglockners 1957 (Bildbeschreibung im Text).

Das ist wohl mit ein Grund, warum heute so leicht damit manipuliert werden kann.

Solche Randzonen sind etwa die Grenzbereiche des Anbaues von Brotgetreide. Verschlechterungen des Klimas im Mittelalter führten dort zu Hungersnöten. Fruchtbare Ackerland konnte bestfalls noch als Weideland Verwertung finden (hier sei an Schottland, aber auch Grönland erinnert). – Analoge Überlegungen treffen für den Weinbau zu.

Klimatische Grenzzone finden wir ebenso im Gebirge. Wir sprechen von Wald- und Schneegrenzen, oder von Grenzwerten, die ausreichende Lebensbedingungen für Fauna und Flora bieten. Änderungen ihrer Höhenlage oder die Gletscherbewegungen geben uns Zeugnis über das gleichzeitige Verhalten des Klimas.

Ein solches Beispiel bietet uns der größte Gletscher Österreichs, die *Pasterze* im Glocknergebiet (vgl. Abb. 1) Es ist ein Bild, das 1957, also schon vor 35 Jahren, aufgenommen wurde und den damaligen Stand des Gletschers festhält (weit im Hintergrund). Es läßt noch genau erkennen, welche Ausmaße die Pasterze zur Zeit ihres Höchststandes, 1856, also nur 100 Jahre vorher hatte. Im Vordergrund an den Flanken des *Margaritzenkopfes* befinden sich die Möllsperren, die wenige Jahre vorher errichtet wurden (1952). Das Wasser der Möll wird durch den Berg ins Nachbartal ins Kraftwerk Kaprun geführt.

Die Pasterze ist ein konkreter Zeuge für die klimatischen Änderungen der letzten Jahrhunderte.

Viktor Paschinger²⁾, in erster Linie Geograph und Botaniker, befaßte sich in seinen *Pasterzenstudien* intensiv mit dem Verhalten dieses Gletschers. Er veröffentlichte diese anlässlich der Jahrhundertfeier des *Naturwissenschaftlichen Vereines für Kärnten* im Jahre 1948. Besonders ausführlich ging er auf die Veränderungen der Eis- und Schneebedeckung ein. Persönlich verfolgte er in vielen Begehungen die Moränenreste der verschiedenen Hochstände, forschte aber auch in Chroniken z. B. in Heiligenblut nach, um einschlägige Unterlagen zu finden. Damit war ihm die Möglichkeit geboten, sich ein aufschlußreiches Bild über die Klimaentwicklung der letzten Jahrhunderte in den Alpen zu machen. – Hier nur ein erster Hinweis: Der Margaritzenkopf (Vordergrund Bildmitte) war in den 40er Jahren des vorigen Jahrhunderts noch von Lärchen bestanden, ehe sie die Pasterze wenige Jahre danach abhobelte. – Wir kommen später darauf zurück.

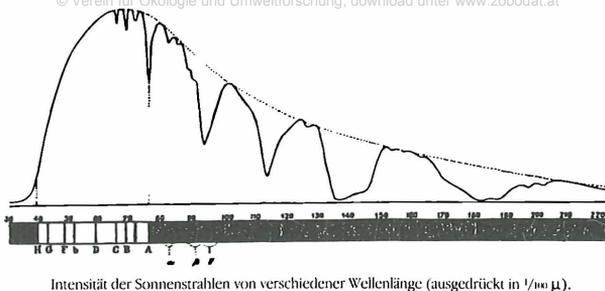


Abb. 2: Sonnenspektrum und Absorptionsbande (punktiert außerhalb der Atmosphäre, ausgezogene Linie an der Erdoberfläche)³⁾

I. KLIMA und KLIMAZONEN der ERDE STRAHLUNG

Das wichtigste, für das Klima bestimmende Element ist die Einstrahlung der Sonne, die durch die Atmosphäre weitgehend abgeschwächt wird. Für diese Abschwächung der Einstrahlung sind vor allem das Ozon (im kurzwelligen Bereich, Absorption der für den Menschen so gefährlichen UV-Strahlung) sowie das Kohlendioxid (CO₂) und der Wasserdampf (H₂O) verantwortlich. Letztere Spurengase schlucken mehr als ein Fünftel der gesamten Einstrahlung (Hann-Süring ³⁾, 1939; Heinz Reuter ⁴⁾, 1968). Deren Absorptionsbande liegen fast ausschließlich im langwelligeren Bereich des Sonnenspektrums (vgl. Abb. 2: rechts der Fraunhoferschen Linie A).

Eine Anreicherung des CO₂ in der Atmosphäre ist gleichbedeutend mit einer Verminderung der Einstrahlung.

Die Absorptionsbande des Wasserdampfes und des CO₂, die wie gesagt, im langwelligeren Bereich (Wärmestrahlung) liegen, sind auf der anderen Seite auch für den *Glashauseffekt* der Atmosphäre verantwortlich, da die Luftmassen kurzwellige Strahlung (etwa 40 %) fast ungehindert durchlassen, die von der Erde reflektierte Wärmestrahlung hingegen von diesen Elementen absorbiert, bzw. rückgestrahlt werden. Diesem Umstand verdanken wir es, daß die mittlere Temperatur der Erde 15 °C beträgt und nicht –18 °C, die sie ohne Atmosphäre haben würde.

Steht die Sonne im Wendekreis des Steinbocks, also an ihrem südlichsten Punkt, dann liegt z. B. Australien im Bereich der stärksten Einstrahlung. Trotzdem bleibt das sogenannte Ozonloch über der Antarktis, das in Wirklichkeit kein Loch sondern nur eine Verdünnung der Ozonschicht darstellt, für Australien und die ganze übrige Erde unwirksam, da nur im unmittelbaren Bereich des Ozonloches selbst, bis etwa

100 km vom Rande entfernt, eine Erhöhung der UV-Strahlung möglich ist. Andere Behauptungen gehören in das Reich der Fabel.

Steht die Sonne im Zeichen des Krebses (Sommer der Nordhalbkugel), dann wird die Eiskappe über dem Nordpol den ganzen Tag bestrahlt. 24stündig bedeutet dies, daß das Polargebiet außerhalb der Atmosphäre eine um 10 % höhere Einstrahlung erhält als gleichzeitig der Äquator. Daß das Polareis trotzdem nicht schmilzt, liegt an dessen hoher Albedo, der Rückstrahlung durch Schnee und Eis.

Ein eventuelles Abschmelzen des Polareises würde zwar keinen Anstieg des Meeres bewirken, handelt es sich doch um schwimmendes Eis, jedoch starke klimatische Folgen nach sich ziehen. Die Erwärmung des Polarmeeres bedeutete in erster Linie eine Verminderung der Temperaturgegensätze Pol-Äquator, sowohl der Luft als auch des Wassers, damit eine Minderung der Ausgleichskräfte. Ein Abklingen des Golfstromes würde für die nordischen Länder Europas ein Absinken der Temperatur auf Werte bedeuten, die jenen von Sibirien in gleichen Breiten entsprechen. Es sind nur Vermutungen, die angestellt werden können, um eine Aussage über das Ausmaß der daraus folgenden klimatischen Änderungen für die gemäßigten Breiten treffen zu können.

KLIMAGÜRTEL und ZIRKULATIONSYSTEME der ERDE

Die ungleiche Bestrahlung der Erde durch die Sonne führt jedoch zu keiner direkten Luftzirkulation, zu einem Luftmassentransport vom Äquator zu den Polen in der Höhe und umgekehrt vom Pol zum Äquator in den unteren Schichten, sondern zu auf beiden Halbkugeln spiegelbildlich angeordneten Windgürteln (Abb. 3). Man

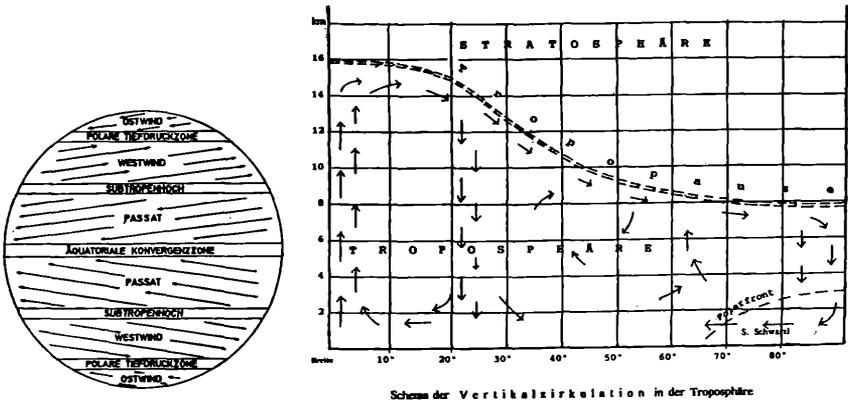


Abb. 3: Windgürtel an der Erdoberfläche (schematisch)

Abb. 4: Schema der Vertikalzirkulation

spricht von der Innertropischen Konvergenzzone (ITK) in Äquatornähe, in der die Ostpassate einmünden, den Hochdruckgürteln in etwa 30° Breite, die wiederum die Passat- von den Westwindzonen trennen. Polwärts in etwa 60° Breite folgen die polaren Tiefdruckgürtel (z. B. Islandtief), die schließlich in die Polargebiete übergehen.

VERTIKAL-ZIRKULATION

Es sind die vertikalen Zirkulationssysteme (Abb. 4), die für das Klima die Verantwortung tragen. Gut ausgeprägt ist nur das Windsystem zwischen der Innertropischen Konvergenzzone (aufsteigende Luftbewegung, daher Tiefdruckgebiet) und dem Hochdruckgürtel (Absinken) in etwa 30° Breite (Wendekreise). An den Polkappen herrschen vorwiegend Absinkbewegungen. Es ist schwere Kaltluft, die in Bodennähe abfließt und als „Polarfront“ in das Wettergeschehen der Gemäßigten Breiten eingreift. Diese, die „Gemäßigten Breiten“ stellen das Kampfgebiet zwischen den Polarluftmassen und der Warmluft aus den Subtropen dar. – Es sind die Hoch- und Tiefdruckgebiete, Tröge und Höhenrücken, die für unser so wechselhaftes Wetter sorgen.

Globale Niederschlagsverteilung

Den Vertikalbewegungen entsprechend ergibt sich die Niederschlagsverteilung auf der Erde. Bei aufsteigender Luftbewegung, in Gebieten mit niedrigem Luftdruck sind die stärksten Niederschläge zu erwarten (ITK-Tropenwälder: Regenwald des Amazonas-Kongo-Nilquellgebiet u.a., sowie polarer Tiefdruckgürtel, bekanntes Islandtief), während in den Hochdruckgebieten (Absinkbewegung) größte Trockenheit herrscht (Wüstengebiete der Nordhalbkugel: Sahara – Wüstenstreifen Texas – Nevada – ebenso nördlich des Himalaja; bzw. auf der Südhalbkugel: Australien – südliche Teile Südamerikas und Südafrikas) und schließlich die Trockengebiete an den Polen selbst.

Doch ist es nicht die Strahlung allein, die die Niederschlagsverteilung auf der Erde bestimmt. Zusätzlich übt das Relief der Erde einen ganz großen Einfluß aus; die Land-Meerverteilung (Monsunregen), die Kettengebirge (in Amerika N-S gelagert: Anden-Rocky Mountains, die europäisch-asiatische Faltung W-O gerichtet: Pyrenäen-Alpen bis Himalaya) sowie die Meeresströmungen (im Atlantik kalter Grönland- und Labradorstrom, warmer Golfstrom). Dementsprechend finden sich Niederschlagsmaxima an den Westküsten der N-Halbkugel, während in gleicher Breite landeinwärts Wüstengebiete liegen können. In der Summe ergeben sich die Niederschlagsverteilungen, wie sie in allen Atlanten vorzufinden sind. Es ist eine sehr komplexe, um nicht zu sagen komplizierte Verteilung.

Der Mensch hat seine *Behausungen* dem Klima angepaßt. – So genügt dem Eingeborenen in den Tropen einfach ein mit Stroh (Schilf) gedecktes Giebedach, das vor zu viel Sonne und gegen tropische Regen schützt. Gleichbleibende Temperaturen und geringe Luftbewegung erübrigen Schutz gegen Wind und Kälte. Freilich sind die fallweise auftretenden tropischen Wirbelstürme auszunehmen, die dann gleich Tausende solcher Häuser zerstören können.

Im Klima der *Gemäßigten Breiten*, wo 24stündige Temperatursprünge von 20°C und Stürme nichts Seltenes sind, wird Schutz vor Extremtemperaturen und Wind nach allen Richtungen vorausgesetzt.

II. SCHWANKUNGEN des KLIMAS

Der Temperaturverlauf auf dem Sonnblick⁵⁾ seit Errichtung des Observatoriums vor 110 Jahren verdeutlicht, wie stark die einzelnen Jahre (Abb. 5, oberstes Diagramm) wetter- und witterungsbedingt voneinander abweichen, noch weit mehr die einzel-

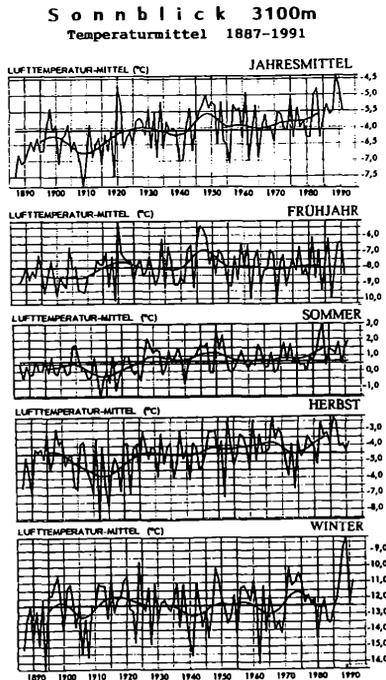


Abb. 5: Sonnblick: Temperaturmittel 1887 – 1991
(mit 20jährigen übergreifenden Mitteln)

nen Jahreszeiten. Jede großräumige Tendenz mußte für den Menschen so lange verborgen bleiben, so lange er sie nicht aus aufgezeichneten Meßreihen verdeutlichen konnte. Durch übergreifende Mittelbildung über längere Zeiträume (hier 20 Jahre), konnten die kurzfristigen Schwankungen eliminiert werden (stark ausgezogene Linien).

Wir sehen, daß in den Alpen in 3100 Meter Höhe die Temperatur im Jahresmittel, bei mehr oder weniger langen Perioden von Zu- und Abnahmen, seit den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts um 0,8 °C zugenommen hat. Allerdings trifft dieser Trend für die Winterbeobachtungen nicht zu.

EXTREME WETTERSITUATIONEN

Im folgenden sind einige wenige Beispiele aus der 200jährigen Beobachtungsreihe von Wien angeführt, die in Erinnerung rufen, welche Sprünge unser, das *Gemäßigte Klima* machen kann.

Zu den extremen Wintern gehören die Jahre, 1828/29, 1829/30, 1928/29. Sie brachten Tagesmittel, die tagelang unter -20 °C lagen! Die **Minima** betragen in Wien -27 °C . Die lang andauernde Kälte führte zu schweren Eisstößen auf der Donau. – Solche sind wohl in Zukunft nie wieder zu erwarten, da die Staustufen jegliches Eistreiben verhindern.

Der Eisstoß vom 1. März 1830 wurde zu einer der schwersten Natur-Katastrophen in Wien. Plötzliches Tauwetter im Westen ließ die Donau hoch anschwellen und trieb das Eis stromabwärts vor sich her. Im Stadtgebiet selbst, wo die Donau seit Monaten zugefroren war, stauten sich die Eisschollen haushoch auf, die Wassermassen überfluteten die ganze Rossau und die nördlich gelegenen Teile Wiens. Häuser wurden mitgerissen, es gab Dutzende Tote.

Hervorzuheben ist der Feber 1956, er war mit einem Monatsmittel (!) von $-8,5\text{ °C}$ der zweitkälteste in der 200jährigen Temperaturreihe Wiens (kältester 1929 mit $-10,7\text{ °C}$!). Er folgte einem sehr warmen, schneefreien Dezember und Jänner. Trotzdem kam es noch zur Eisstoßbildung auf der Donau.

Im Gegensatz dazu brachte das darauffolgende Jahr im Juli hintereinander drei Tagesmittel über 30 °C (6., 7 u. 8. Juli) mit einem **Maximum** von **38,3 °C** !

Die **Streuung** der Temperatur (Maximum und Minimum) beträgt in Wien somit nicht weniger als **65 °C** ! – Mit solchen Extremen ist auch in der Gegenwart zu rechnen.

Noch weitaus größeren Schwankungen ist der Niederschlag unterworfen. Von Trockenperioden wie 1992 ausgehend, scheint nach oben hin keine Grenze

gesetzt. Selbst tropenartige Regenfälle sind möglich, wie etwa am 12. 8. 1958 in den Fischbacher Alpen mit einem achtstündigen Niederschlag von 500mm.

Dies zeigen auch die Häufigkeit und die Ausmaße der Hochwässer auf der Donau. Die Hochwassermarken in Melk (auch anderen Orts wie Passau oder Stein) beweisen, daß z. B. im letzten Jahrhundert mehrere großemäßig gleiche oder höhere solcher Hochwässer als jenes von 1954 auftraten, dieses somit keineswegs als 100jährliches Ereignis einzustufen war, wie es zunächst verlautete. Mehrere der großen Hochfluten brachten bis zu 50 % höhere Durchflußmengen. Erwähnt sei nur das Allerheiligen-Hochwasser von 1787 und jenes von 1501, das heute als Maß für das 1000-jährliche HW-Ereignis gilt.

Zur Zeit der Klimaverschlechterung des ausgehenden 16ten Jhdts. (vgl. später) war eine Häufung solcher Katastrophen festzustellen, die einer Vervierfachung der Jährlichkeit von heute gleichkam. (Ch. Pfister⁶⁾, Schwarzl⁷⁾).

A: Die globale Erwärmung seit Mitte des vorigen Jahrhunderts

Bis vor 150 Jahren waren sich die Gelehrten noch einig, daß das Klima etwas Konstantes wäre, das man für jeden Ort durch Beobachtung der Klimatelemente während weniger Jahre festlegen konnte, sofern man von den Eiszeiten absah, von denen man wußte, daß es sie gegeben hat. – Es waren vor allem Alpinisten, die die Fachwelt darauf aufmerksam machten, daß sich das Landschaftsbild im Hochgebirge seit Mitte des vorigen Jahrhunderts zu ändern begann. Die Gletscher, die bis dahin vorrückten, zogen sich mit einmal wieder zurück, die Schneerücklagen der Winter wurden geringer usw.. – Diese Meldungen gaben den Anstoß, daß sich die Fachwelt über die Ursache Kopfzerbrechen machte und die Klimaforschung neuen Auftrieb erhielt.

Deutlich läßt der Temperaturverlauf in Wien (Abb. 6) diese Tendenzänderung seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts erkennen. In der Graphik wurden wiederum langjährige (20jährige), übergreifende Mittel verwendet, um die Tendenzen deutlicher hervortreten zu lassen. Bemerkenswert ist, daß die Schwankungsbreite (Abweichung der einzelnen Jahresmittel vom Mittelwert) vor Mitte des vergangenen Jahrhunderts fast doppelt so hoch war als später bis heute. Eine besonders hohe Streuung weisen die Winter auf. Sie weichen wesentlich von den Jahresmitteln ab. Hier findet sich ein Optimum nach 1900, also eine besonders warme Periode, während die Sommer gleichzeitig kühler wurden.

Diese Ergebnisse gehen durchaus nicht konform mit den Messungen in 3000m Höhe im Gebirge (vgl. dazu Abb. 5, Sonnblick). Auffallend ist besonders die große Streuung vom Mittelwert in Wien im Winter (Wintermittel: $-0,2$ °C), die jene am

Sonnblick bei weitem übertrifft. Hingegen stimmt die gemittelte Erwärmung seit Ende des 19. Jhdts. (!) um $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ größenmäßig überein. Es darf aber nicht übersehen werden, daß erst in der Gegenwart in Wien ein Temperaturniveau erreicht wurde, das um 1800, also noch während der Kleinen Eiszeit vorherrschte.

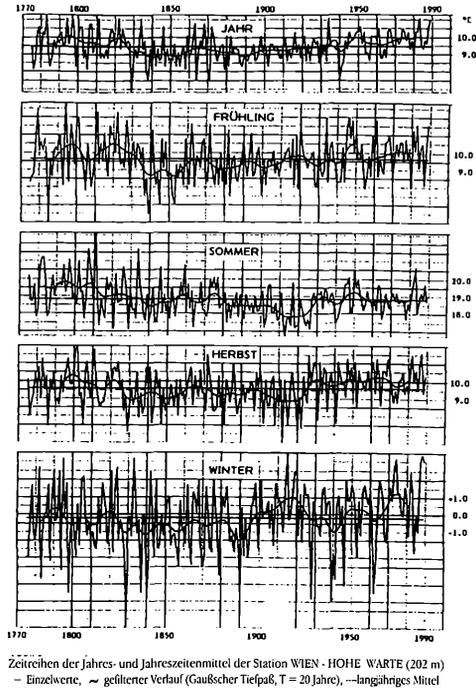


Abb. 6: Die 200jährige Temperaturreihe von Wien-Hohewarte⁹

B: AUSWIRKUNGEN der ERWÄRMUNG in den ALPEN und KLEINE EISZEIT

Eines der schönsten Zeugnisse über die Trendumkehr der Temperatur in Europa geben uns, wie schon erwähnt, die Schnee-Verhältnisse und die Gletscherbewegungen im Hochgebirge.

Ein solches Beispiel ist der Rhonegletscher, der 1775 noch wie in einer Stromschnelle in das Becken von *GLETSCH* stürzte und sich kuchenförmig über das weite Tal ausbreitete (Abb. 7, folgende Seite). Nur 100 Meter vor dem Ort *Gletsch* in 1760 m Höhe kam er zum Stillstand, um sich bis heute wieder in die höchsten Kare zurückzuziehen, vom Becken aus nicht mehr sichtbar. In der Lithographie von 1848 (Abb. 7, oben) sind auch Moränenwälle kurzer Vorstöße eingetragen.

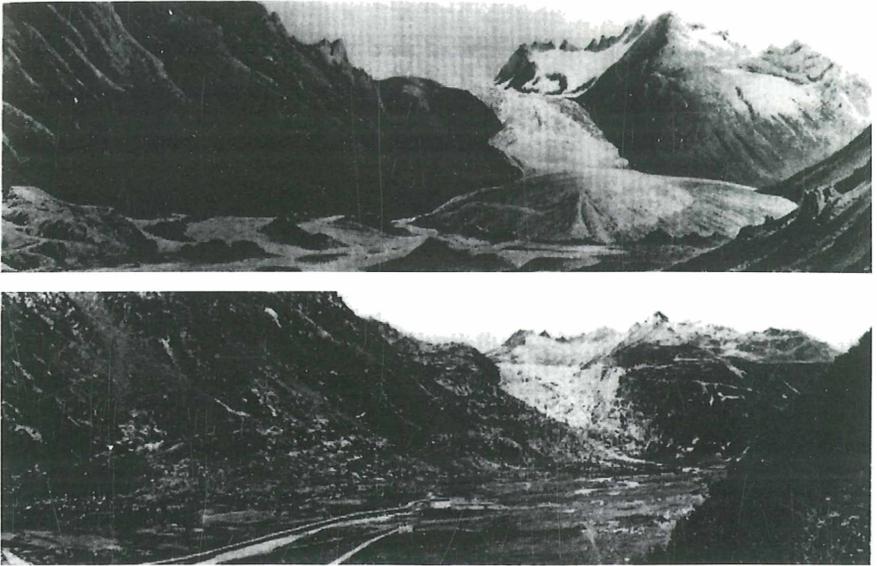


Abb. 7: Der Rhonegletscher: oben nach einer Lithographie 1848, unten Foto 1970¹²⁾

Ein anderes Zeugnis für die gewaltigen Änderungen seit Mitte des vorigen Jahrhunderts ist der Wechsel des Landschaftsbildes rund um das Sonnblickobservatorium, das vor 110 Jahren in 3100 m Höhe errichtet wurde. Es war der einzige Gipfel, der damals im Sommer eisfrei und leicht erreichbar war.

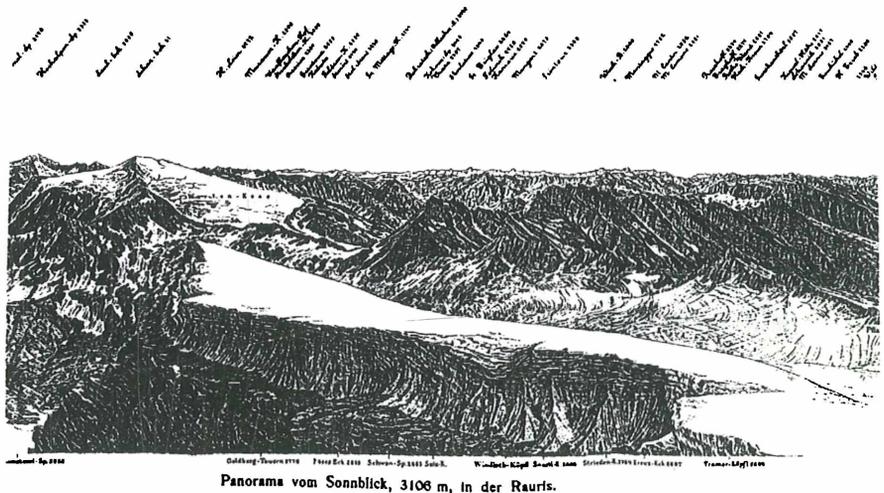


Abb. 8: Panorama vom Sonnblickgipfel um 1890⁹⁾

Zur Zeit der Erbauung des Observatoriums vor 110 Jahren lag noch eine elf Meter hohe, langjährige Firndecke über dem Gelände (Abb. 8) die bis an den Nordabsturz des Sonnblick heranreichte. Die Telefonleitung mußte auf 4 m hohen Masten in den Firn eingesetzt werden, war dementsprechend oft gestört.

80 Jahre später ist der flache Hang nur mehr von einer Restschicht des sommerlichen Schnees bedeckt. Sommer für Sommer aperte er gänzlich aus. Heuer, 1993, zum ersten Mal nach vielen Jahren überdauerte eine 2,50 Meter hohe Schneedecke die warme Jahreszeit, was besagt, daß 80 mm Niederschlagswasser zurückgehalten wurde.

Müssen wir deswegen gleich von einer Klimaverschlechterung sprechen?

Ein ganz anderes Zeugnis, das die Erwärmung seit Mitte des vorigen Jahrhunderts verdeutlicht, ist der Rückzug des polaren Treibeises auf dem Atlantik. In den Schulatlanten vor der Jahrhundertwende waren die Grenzen dieses Treibeises auf dem Atlantik noch genau eingetragen, um die Bedeutung als Gefahrenzone für die Schifffahrt hervorzuheben. Wir denken an den Untergang der *Titanic*, die trotz vorheriger Warnung auf ihrem *direkten* Weg von Europa nach New York auf einen Eisberg lief und unterging. – Diese Treibeisgrenze zog sich damals südlich von Island nach Westen und dann östlich des Grönland- und Labradorstromes nach Süden bis knapp oberhalb von New York. Heute ist in den Weltkarten keine Spur mehr von einer solchen Gefahrgrenze zu finden. Innerhalb von nur 30 Jahren, von 1900 bis 1930, hatte sie sich bereits um 1000 km nach Norden zurückgezogen und damit ihre Bedeutung für die Schifffahrt verloren (vgl. später Eis vor Island).

C: Die TRENDUMKEHR vom WARMEN KLIMA des MITTELALTERS zur KLEINEN EISZEIT

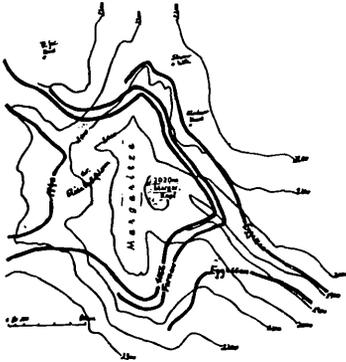


Abb. 9: Grenzen der Pasterze (n. Pasching)



Abb. 27. Ausschnitt aus J. Holzwurms Karte von Kärnten, 1612.

Abb. 10: Ausschnitt aus J. Holzwurms Karte von Kärnten 1612

Kehren wir zum Glockner zurück. Verfolgen wir zunächst die Grenzen des zurückweichenden Gletschers (Abb. 9). Das Zungenende reichte 1856 noch bis 400 m unterhalb der Margaritzensperren. Bis 1940 hatte sich das Eis schon bis hinter den Elisabethfelsen zurückgezogen und einen Massenverlust von über 20 % hinnehmen müssen!

Auf der Abbildung 1, 1957 erkennen wir noch deutlich die Spuren der größten Ausdehnung, die glatt geschliffenen Felsköpfe; den Margaritzenkopf mit 2020 m zwischen den Talsperren, dahinter den ebenso abgehobelten Elisabethfelsen (2165 m, Höhendifferenz bereits 145 m). An den Hängen läßt sich an den abgelagerten Moränen, die sich als Karflächen vom unberührten Teil deutlich abheben, die Mächtigkeit des Gletschers während seines Hochstandes nachvollziehen. Hier sei nochmals daran erinnert, daß der Margaritzenkopf 1840 noch mit Lärchen bestanden war.

Bisher beschäftigten wir uns vornehmlich mit der Temperaturzunahme seit Mitte des vorigen Jahrhunderts. Die Tatsache jedoch, daß es in den 40er Jahren noch Lärchenbestand auf dem Margaritzenkopf gab, der erst ein Jahrzehnt vor seinem Höchststand vom Gletscher abgehobelt wurde, weist darauf hin, daß es vorher wärmer und der Felsen Jahrhunderte lang eisfrei geblieben sein mußte, sonst wäre ein Baumwuchs hier nicht möglich gewesen.

Allein schon der Name „Pasterze“, der übersetzt Weideland bedeutet, besagt, daß der Pasterzenboden nicht immer von Eis bedeckt war. In Aufzeichnungen in Heiligenblut wird auch hier von Baumbestand gesprochen. – Ähnliche Namenshinweise finden wir im benachbarten Sonnblickgebiet, wie *Die Übergossene Alm* oder *Ochsenkar Kees* u.a.. Es sind Hinweise, daß das Eis erst viel später Besitz von diesen Hochflächen ergriffen hatte.

Wir sind also nicht weiters überrascht, wenn in der ersten kartographischen Darstellung Kärntens (Abb. 10) die Möll einem See entspringt, der sich unterhalb der Hoffmannshütte (2442 m) in der Mitte des *Mittleren Pasterzen Keeses* befindet. Da Bäche und Flurbezeichnungen mit der Natur übereinstimmen, muß angenommen werden, daß letztere Aussage dem Stand der Vergletscherung entsprach, als Holzwurm seine Aufzeichnungen an Ort und Stelle vornahm, daß also zu der Zeit als er das Gelände besichtigte, selbst der mittlere Pasterzenboden eisfrei war. Erst später kam es zur Klimaverschlechterung, die die *KLEINE EISZEIT* einleitete.

Es war die Klimaverschlechterung Ende des 16ten Jahrhunderts, die auch den Goldbergbau in den Tauern zu Grunde richtete.

Noch zur Zeit der Errichtung des Sonnblickobservatoriums vor 110 Jahren wurde in 2000 Meter Höhe am *NEUBAU* oberhalb von Kolm Saigurn im Rauriser Tal nach

Gold geschürft. Der Erbauer des Observatoriums, *Ignaz Rojacher*, war auch der Besitzer der Bergwerke. – Seinem Rate, am Gipfel des Sonnblicks, dem einzigen eisfreien Fels, das Observatorium zu errichten, war Julius Hann gefolgt.

Gerade aus den Aufzeichnungen über den Goldbergbau in den Salzburgischen Tauern, vor allem im Rauriser und Gasteiner Tal (Tauerngold) lassen sich aufklärende Schlüsse über den Klimaeinbruch zu Beginn der Kleinen Eiszeit ziehen. Dazu gehörten die Meldungen über die Reduzierung der Belegschaften in den Goldbergwerken, weil der Bergbau in immer größere Schwierigkeiten geraten war. – So unterhielt z.B. die steinreiche Gewerkenfamilie Weitmoser im Gasteiner Tal Mitte des 16ten Jahrhunderts noch 1200 Knappen, während es nach 1600 nurmehr 208 waren, bevor die Familie, hoch verschuldet den Betrieb überhaupt aufgeben mußte⁹⁾

Bis in Höhen von 3000 Meter hatte man Stollen vorgetrieben, weil man dort am fündigsten wurde. Sie wurden von Schnee und Eis zugedeckt und sind bis heute nicht mehr frei geworden.

Besonders aufschlußreich sind die Nachrichten, daß einzelne Stolleneingänge wie etwa der Bartholomei- und der Johannstollen bereits 1580 vom *Neunergletscher* „überfahren“ und mit 20 m Eis überdeckt wurden. Die Dicke der Eisschicht nahm bis ins 19. Jhdt. auf 100 Meter zu.

Aus anderen Quellen hören wir (Ch. Pfister⁹⁾, Schweiz), daß die Gletschervorstöße gerade in dieser ersten Kälteperiode jährlich bis 100 und mehr Meter betragen haben (Stärkster Vorstoß des Rhone – und der Grindelwald-Gletscher)! Es wurden die genauen Daten festgehalten, wann etwa und wo eine Alm, ein Marterl, sogar eine kleine Kapelle vom Eis überfahren wurde. Das Wirtschaftsleben ganzer Täler und Ortschaften war von dieser Klimaverschlechterung betroffen. Dazu gehörte auch Heiligenblut.

Diese Klimawende vollzog sich allerdings sehr rasant, viel schneller als etwa die gegenwärtige Erwärmung der Erde.

Ähnliche Aufschlüsse bringt das Verhalten des Polareises. Sie sind vielleicht sogar etwas überraschend. Folgende Zusammenstellung gibt an, in wieviel Wochen des Jahres die Nordseite Islands im Durchschnitt mit Eis oder Eistreiben zu rechnen hatte:

Das jährliche Eisvorkommen an der Isländischen Nordküste

1500 – 1600	3,2 Wochen
1600 – 1700	22,6 Wochen
1700 – 1800	25,3 Wochen

1800 – 1900	40,8 Wochen
1900 – 1950	8,6 Wochen

Im 16. Jhd. waren es nur 3,2 Wochen im Jahr, im Jahrhundert darauf schon 22,6. Die Tabelle zeigt, daß die Vereisung des Polarmeeres während der ganzen Kleinen Eiszeit, trotz mehrerer wärmerer Perioden bis ins vorige Jahrhundert ständig zugenommen hat. Demgegenüber ist der Sprung von 40,8 im vorigen auf 8,6 in diesem Jahrhundert sehr bezeichnend und entspricht ganz dem weiter oben angeführtem Rückgang der Treibeisgrenze.

Aus tausenden einzelnen Mosaiksteinchen, die aufgrund sorgfältiger Untersuchungen von Klimazeugnissen aus Chroniken, Studium der Baumringe, Aufzeichnungen über Ernteergebnisse, Reifezeiten des Weines und vielem anderen mehr wurde von Chr. Pfister für die Schweiz ein Bild zusammengestellt⁶⁾, das es erlaubt, das Auf und Ab der Kleinen Eiszeit genauestens zu verfolgen. Zu ganz ähnlichen Ergebnissen, wie Chr. Pfister in der Schweiz, kam auch H. v. Rudloff in seinem Buch¹⁰⁾ Er stützte sich nur auf Angaben vorhandener Meßreihen.

Es war vor allem der Temperatursturz während der kalten Jahreszeit, der diese von britischen Forschern so benannte KLEINE EISZEIT einleitete. Die Winter blieben praktisch während der ganzen Klimaperiode 1 °C bis 3 °C kälter als in der Gegenwart. Weit ausgeglichener verhielten sich die Sommer. Erst ab Ende des 18. Jhdts. wurden auch diese kalt. Das Zusammenfallen von kühlen Sommern mit viel Niederschlägen und lang andauernde Winter begünstigten die rasche Vergletscherung. Wie gesagt stießen die Gletscher Ende des 16. Jahrhunderts um mehr als 100 m im Jahr vor.

III. URSACHEN der KLIMASCHWANKUNGEN

Es ist nur selbstverständlich, daß der Mensch sich die Frage stellte, welche Ursachen zu diesen klimatischen Änderungen führten und ob und wie weit er selbst mitverantwortlich dafür ist.

A: Natürliche Ursachen klimatischer Änderungen

So versuchten die Meteorologen schon immer Zusammenhänge, bzw. Parallelen zwischen den klimatischen Erscheinungen zu besonderen Naturphänomenen festzuhalten, um Gesetzmäßigkeiten, sich wiederholende Periodizitäten ausfindig zu machen. Man hätte dann Schlüsse auch für die Zukunft ziehen können.

Die ganz großen Klimaänderungen, der Wechsel von Warm- und Kalt (Eis)-zeiten konnten am ehesten mit Kontinentalverschiebungen und Polwanderungen erklärt

werden. Auch außerterrestrische Ereignisse mußten in Betracht gezogen werden. Wir können auch annehmen, daß es tatsächlich mehrmals zur Abschmelzung des arktischen Meereises kam (Schwarzbach), was zumindest für die gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel Klimaschwankungen zur Folge haben mußte. Wir wissen es nicht, vielleicht nur noch nicht.

Man korrelierte mit den Mondphasen, mit den Sonnenaktivitäten, mit Erdbeben, mit Vulkanausbrüchen und anderes mehr. Es sind zu viele Faktoren, die das Klimageschehen beeinflussen. So blieb es bisher ein vergebliches Bemühen, eindeutig Abhängigkeiten zu finden. Sie konnten auch nicht mathematisch erfaßt werden, *was wohl mit Schuld an dem schlechten Ruf der Meteorologen trägt, weil diese Wissenschaftler „nicht exakt“ arbeiten können.*

Ein solcher Versuch ist die Gegenüberstellung der Vereisung der Nordküste Islands zu den Vulkanausbrüchen (s. später Abb. 11; Rudloff, Abb. 21/S.90)

Eine schwache Korrelation findet sich bei der Gegenüberstellung von Temperatur und Sonnenaktivitäten.

Eine ganz andere Frage ist es, wie weit der Mensch selbst Mitverantwortung für klimatische Änderungen trägt, z. B. für die Klimaverschlechterung Ende des 16., bzw. die Erwärmung seit Mitte des vorigen Jahrhunderts.

B: Mensch und Klima

Im Mystizismus des Mittelalters wurde vielfach das frevelhafte Verhalten des Menschen als Ursache der Klimaverschlechterungen hergeholt. In den verschiedensten Sagen, etwa in den „Gasteiner Sagen“, waren es die bösen Knappen, deren Unterkünfte zur Strafe eingeschneit und nie wieder von der Schneelast befreit wurden. Dies quasi als mündliche, jahrhundertealte Überlieferung des tatsächlichen Geschehens.

Heute wird wieder dem sich falsch verhaltenden Menschen die Schuld am zukünftigen *KLIMA-CHAOS* zugeschoben.

Welches sind die wichtigsten Eingriffe, die der Mensch in der Natur vorgenommen hat? **In Europa gibt es kein einziges fließendes Gewässer mehr, das noch in seinem Naturzustand belassen worden wäre. Alle Bäche und Flüsse wurden in irgendeiner Form „reguliert“.** In welcher Art dies geschah, möge an zwei Beispielen angeführt werden, der Donau-Regulierung im Wiener Raum und den großen Colorado-Speichern in den U.S.A..

Noch zur Zeit Johann Strauß's konnte sich die Donau in den Auen und vor allem im Marchfeld kilometerweit ausbreiten. Die Katastrophen von 1830 (siehe oben) und 1862 waren der letzte Anlaß, um sie zu *regulieren*. (Donaudurchstich bei Wien 1875).

Die Folgen: Beschleunigung und Erhöhung der Spitzenhochwässer, Eintiefung der Sohle, Absinken des Grundwassers und Austrocknung des Marchfeldes und der Auegebiete. Die Gefahr von Überschwemmungen wurde für die Unterlieger vergrößert.

Nach dem Hochwasser 1899 die Erkenntnis, daß der bisherige Hochwasserschutz für Wien unzureichend war. Die Erkenntnisse aus dem Hochwasser 1954: Der Hochwasserschutz nach 1899 war neuerlich unzureichend. Man mußte wieder, zum dritten Mal einschneidend *regulieren*. *Ein Sekundärgerinne* muß soviel Wasser abführen können, daß die Donau bei Wien heute ein 1000jähriges Ereignis aufnehmen kann, etwa das HW 1501. Wie lange noch?

Viel einschneidendere Auswirkungen hat jedoch der umgekehrte Weg, die Rückhaltung der Gewässer in Stauräumen. Es sind Eingriffe, die sich weitgehend auf das lokale Klima auswirken müssen. Gemeint sind die gewaltigen Staubecken z. B. in Rußland (z. B. am Don) und den USA, die gebaut wurden, um einerseits Energie zu gewinnen und Bewässerungsanlagen ausreichend versorgen zu können, andererseits um selbst Wüstengebiete fruchtbar zu machen. Mit einem Staudamm von mehr als 200 m Höhe wurde ein See (Colorado-Stausee: Lake Powel, Utah-Arizona) mit 4000 km Uferlänge mitten in die Wüste gesetzt.

Die Folge? Da das Colorado-Wasser mehrmals auf diese Weise zurückgehalten wird (z. B. auch Lake Mead in Las Vegas, Nevada), trocknet sein Mündungsdelta, Feuchtgebiete und Auen, immer mehr aus. – Klimatisch gesehen bedeutet dies einfach eine Schwerpunktverlagerung auf engerem Raum: Hier Begrünung durch Fruchtbarmachung von Wüsten, dort Austrocknen von Feuchtgebieten.

Eine andere Frage betrifft die Abholzung der Wälder, die über das lokale Ausmaß hinausgehen, heute im Speziellen die der Regenwälder. Eindeutig weiß man, daß die Abflußverhältnisse im Extrembereich in gebirgigem Gelände durch solche Abholzungen *wesentlich verschlechtert* werden, ebenso wird die Lawinengefahr vergrößert. Es wären, um nur ein Beispiel zu nennen, Milliardenbeträge notwendig, um auf künstliche Weise die Schutzwälder zu ersetzen. Wie weit daraus und in welcher Richtung klimatische Folgen zu erkennen sind, ist problematisch. **In Europa wurden im Laufe von Jahrhunderten mehr als zwei Drittel der Wälder ein Opfer der Kultivierungen.** (Die Römer fanden bei ihren Vormärschen nach *Germanien* nur immer wieder Urwald. Sie selbst fingen an, die Wälder an der adriati-

schen Küste zu roden, um ihre Kriegsschiffe bauen zu können. Von diesen Wäldern ist bis heute wenig übrig geblieben, die dalmatinische Küste jedoch verkarstet). **War die Warmzeit des Mittelalters die unausbleibliche Folge oder umgekehrt der Beginn der Kleinen Eiszeit?** Können wir irgendwelche Zusammenhänge herausfinden? Wo könnten diese liegen?

Emissionen aus Industrieanlagen und Verkehr (Auto, Flugzeuge).

Heute wird es als erwiesen bezeichnet, daß der Mensch das Klima beeinflusst u.zw. aufgrund der vielen Schadstoffe, die in die Luft gepufft (emittiert) werden. Als Folge führt dies zu dem sogenannten *TREIBHAUSEFFEKT*

Wir Menschen leben, wie schon erwähnt, vom Treibhauseffekt der Atmosphäre. Vor allem das CO₂ und der Wasserdampf sorgen dafür, daß die Mitteltemperatur der Erde um 33 °C höher liegt, als sie es wäre, wenn diese Gase fehlten.

Treibhaus-Effekt der Spurengase

In jüngerer Zeit wurden *Modellrechnungen* durchgeführt (C.D. Schönwiese / B. Diekmann, 1989^{12), 13)}), um die Temperaturzunahmen *errechnen* zu können, falls eine Verdoppelung der Konzentration dieser für den Treibhauseffekt verantwortlichen Spurengase eintritt. So wurde z. B. *berechnet*, daß bei Verdoppelung des Methans die Temperatur um 0,1° Kelvin (ein Zehntel Grad Celsius) ansteigen könnte. Ein besonderes Gewicht wäre dem CO₂ beizumessen. Das Rechenergebnis wäre bei einer Verdoppelung und „unter Berücksichtigung der Ozeane“, wie es dort heißt, eine Temperaturzunahme von **0,7 °C**.

Nun ist neben Wasserdampf die Kohlensäure jenes Gas, das die Sonnenstrahlung im langwelligen Bereich stark absorbiert (vgl. weiter oben, zusammen mit dem Wasserdampf ein Fünftel der gesamten Einstrahlungsenergie). **Das heißt aber, daß bei einer Verdoppelung des Spurengases CO₂ ebenso eine Verdoppelung des Absorptionsvermögens vom Weltraum her eintreten müßte, also ein dem Treibhauseffekt entgegenwirkender Effekt.** In genannten *Berechnungen* ist dies, so weit bekannt, nicht berücksichtigt worden.

Anmerkung: Prof. F. Lauscher¹⁴⁾ berechnete für das 19. Jahrhundert das Gesamtmittel des CO₂-Gehaltes aus 26 Stationen mit 373 ppm. Die heutigen Werte liegen nicht viel höher.

Anstieg des Meeresspiegels als Folge der Eisabschmelzung

Es sind weiters Berechnungen angestellt worden (C. D. Schönwiese), um wieviel der Meeresspiegel steigen würde, falls die jeweiligen Eisvorkommen der Erde als Folge der vom Menschen verursachten Erwärmung abschmelzen würden; vom Grönlandeis bis hin zur Antarktis. Kombiniert ließe es sich wiederum *ausrechnen*,

wann dieser Abschmelzvorgang eintritt, wenn man den Zeitpunkt *errechnet* hat, wann oben *errechnete* Verdoppelung eintritt.

Untersuchungen, die im Rahmen der IPCC (Intergovernmental Panel on Changing Climate)¹⁰⁾ Forschung durchgeführt wurden, haben ergeben, daß ein solcher Anstieg des Meeresspiegels in den letzten hundert Jahren im Jahr durchschnittlich 1 mm betrug.

In den vorangegangenen Ausführungen wurde darauf hingewiesen, welche einschneidenden Auswirkungen auf den Menschen (Hungersnöte, wirtschaftlicher Verfall u.a.) die Temperaturänderungen, also die Klimaschwankungen der letzten Jahrhunderte hatten. In der Natur waren es Vorstöße und Rückzüge des Polareises, der Vergletscherung der Alpen u.a. Der ganze Stauseekomplex, der Kaprun versorgt, inclusive der Margaritzensperren (s. weiter oben, Abb. 1) wäre fünfzig Jahre früher noch undenkbar gewesen. In Mitteleuropa stiegen die Temperaturen (Sonnblick, Wien) um etwa jenen Betrag, der einer Verdoppelung des Kohlendioxids entsprechen würde. – Das Meer reagierte mit Millimetern.

Erwärmte sich die Erde in den letzten drei, vier Jahrzehnten um so vieles rascher, daß jetzt mit einmal ein Klima-Chaos zu erwarten wäre?

Es wurde schon angedeutet, daß Versuche unternommen wurden, Zusammenhänge zwischen Klima und Vulkanismus herauszufinden. Ein solches Beispiel ist in Abb. 11 angeführt. Desgleichen verfolgte man die klimatischen Auswirkungen ein-

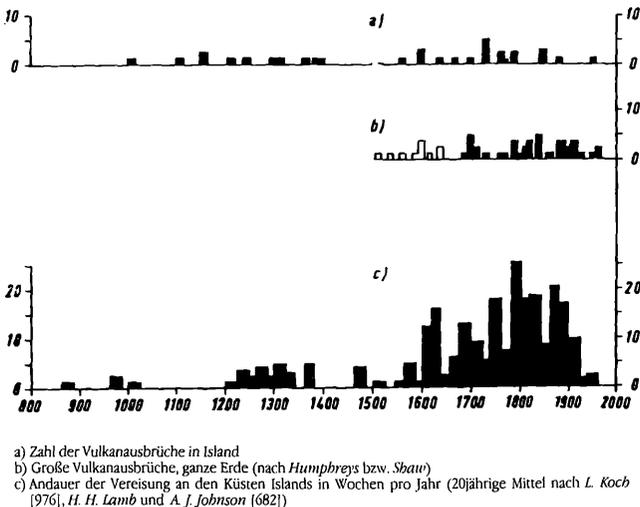


Abb. 11: Island: Vulkanausbrüche und Vereisung der Nordküste¹⁰⁾

zelter großer Vulkanausbrüche. *Es gab keine eindeutigen Ergebnisse. Trotzdem war eber die Tendenz **einer nachfolgenden Abkühlung bei gesteigertem Vulkanismus und erhöhtem CO₂ Gehalt** vorhanden* (in Abb. 11 maximales Auftreten während der Kleinen Eiszeit), *als umgekehrt, wie dies heutzutage sein müßte, wenn der gesteigerte Ausstoß von CO₂ allein zu einer Erhöhung des „Treibhauseffektes“ führen würde.*

Zu ähnlichen Überlegungen muß der Klimaforscher kommen, wenn er die Ergebnisse von Eiskernbohrungen in Grönland oder in der Antarktis vorfindet, die zeigen, daß Temperatur und CO₂ in den Urzeiten recht parallel verliefen (Abb. 12), also bei hohem Gehalt an Kohlendioxid die Temperaturen ebenfalls hoch lagen und umgekehrt. Welches war damals die primäre Ursache der Klimaänderungen, die Temperatur oder das Spurengas?

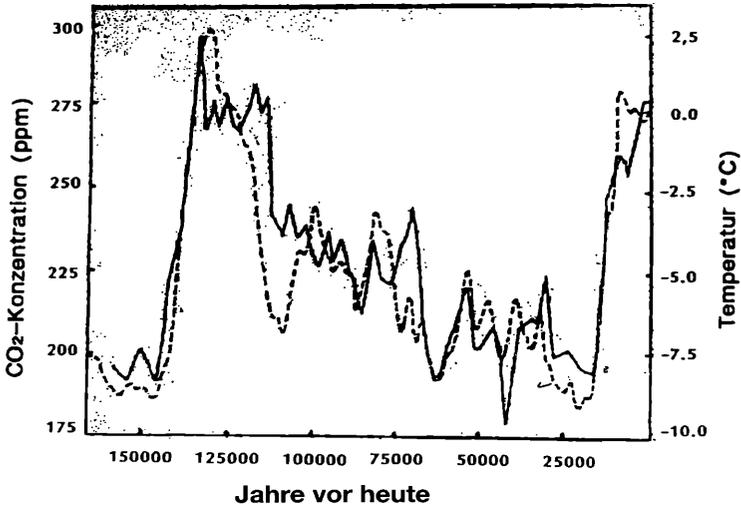


Abb. 12: CO₂-Gehalt und Temperaturverlauf während der letzten Eiszeit

OZON

Ein eigenes Problem ist das Ozon sowohl jenes in Bodennähe, wie das Ozonloch in der Stratosphäre über der Antarktis. Ganz abgesehen davon, daß der ORF (Österr. Fernsehen) vor nicht allzulanger Zeit berichtigte, daß die sogenannte Ozongefahr auf einer Falschmeldung beruhe, die 1980 ausgestrahlt wurde, und, wie gesagt, sich das Ozonloch nur im unmittelbaren Bereich des Loches selbst, bis höchstens 100 km vom Rande entfernt, auf die UV-Strahlung auswirken kann, ergaben Messungen des bodennahen Ozons (F. Lauscher, Oktober 1991¹⁴⁾), die in Wien seit

1853 praktisch lückenlos durchgeführt wurden, daß in den letzten vier Jahrzehnten keinerlei Tendenz eines Anstieges festzustellen sei. (Mittel 1957 – 1991 23,9 ppb, berechnete Vorhersage für das Jahr 2000 ebenfalls 23,9 ppb). Diese Tatsache stehe in keinem Widerspruch zu Messungen an anderen Orten, wie etwa am Hohen Peißenberg, da der Ozongehalt auch in Bodennähe allergrößten Streuungen unterworfen ist.

Ganz etwas anderes ist es hingegen, daß unsere Wälder durch die Emissionen der Industrie schwer geschädigt und unser kostbares Naß in den fließenden und stehenden Gewässern weitgehend durch Abwässer der Industrie vergiftet werden oder schon vergiftet, vielfach bereits tot sind.

Wir wissen, daß es Eiszeiten und Warmzeiten gab und andere erdgeschichtliche Klimaänderungen. So war etwa das Festland am Südpol einmal Tropengebiet, sonst fände man heute dort weder Erdöl noch Kohlenlager, die es wert wären, abgebaut zu werden. Wir wissen, daß Ende des 16. Jhdts. die Kleine Eiszeit ihren Anfang nahm.

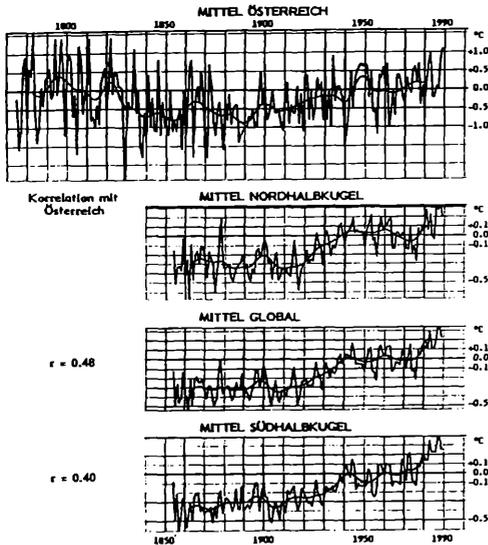
/: Anmerkung: Der Ausdruck wurde von englischen Klimatologen geprägt (Manley, Lamb u.a.), weil die Klimaverschlechterung in der Landwirtschaft Schottlands besonders schmerzlich empfunden wurde. So gehörten britische Forscher zu den ersten, die sich mit diesem Problem näher beschäftigten.:/

Wir wissen auch, daß Mitte des vergangenen Jahrhunderts eine klimatische Trendwende eintrat und kennen deren Folgen. *Wir wissen aber in keiner Weise, welche Ursachen diesen Schwankungen zuzuschreiben sind.*

Vergegenwärtigen wir uns zum Abschluß nochmals den Temperatur-(Klima-)verlauf der letzten zwei Jahrhunderte in Österreich und auf der Erde (Abb. 13).

Alle hier angeführten Aussagen über die Erwärmung der Erde und ihre Folgen bezogen sich auf die Zeit von Mitte des vorigen bis etwa Mitte dieses Jahrhunderts und nicht allein auf die letzten Jahrzehnte. Nach dem, was wir hörten, muß der Klimatologe, der sich mit diesem Problemen näher beschäftigt hat, annehmen, daß das, was sich in den letzten drei bis vier Jahrzehnten abspielte, keine **neue vom Menschen beeinflusste Entwicklung** ist, sondern nur die Fortsetzung der seit der Kleinen Eiszeit eingeleiteten Klimatendenz widerspiegelt.

Wenn wir den Temperaturverlauf der Nord- und Südhalbkugel und in Österreich näher verfolgen (Abb. 13); so werden wir uns sehr schwer tun einen Punkt zu finden, der darauf hinweisen könnte, daß der Einfluß des Menschen genau an diesem begonnen hätte. So ist etwa der Temperaturanstieg in den beiden letzten Jahrzehnten (N- und S-Halbkugel) in keiner Weise steiler als jener Ende des 19. oder Mitte des 20 Jhdts..



Vergleich der Temperaturschwankungen in Österreich mit globalen Kurven Jahresmittel und ~ gefilterter Verlauf (Gaußscher Tiefpaß, $T = 20$ Jahre), Relativwerte, bezogen auf 1951–1980. Temperaturachse bei den Globalkurven um den Faktor 2,5 gedehnt; Quelle der Globalkurven: JONES, WIGLEY, WRIGHT, 1990

Abbildung 13 zeigt die Österreichkurve sowie zwei Hemisphären- und eine Globalkurve, nach JONES, WIGLEY und WRIGHT, 1990. Es handelt sich auch bei den globalen Kurven um Relativwerte, bezogen auf das aktuelle Temperaturniveau.

Abb. 13: Gang der Lufttemperatur der letzten 200 Jahre in Österreich und global. (nach JONES 1986, und R. Böhm⁶⁾).

Im Norden Europas (auch Westgrönland) stieg hingegen die Temperatur seit Beginn des 20ten Jahrhunderts 60 Jahre lang sehr gleichmäßig an, **dann aber wurde sie rückläufig** und nahm bis zur Gegenwart ab. Im Winter ist diese Tendenz noch viel ausgeprägter. Hinzu kommt ein ebenso steiler Temperaturrückgang um und vor der Jahrhundertwende. Ein Verhalten, das durchaus nicht mit den globalen Verhältnissen übereinstimmt.

Daß zu viel Schadstoffe (sprich Spurengase) für Mensch und Natur schädlich sind, darüber besteht kein Zweifel. **Man war sich darüber schon vor dem Computer-Zeitalter klar.** Der berühmt berüchtigte *Londoner Nebel*, der die Gesundheit der Londoner schwer in Mitleidenschaft zog, diene als Beispiel. Mit der Verordnung, die offenen Feuerstellen (Kamine) abzuschaffen, also die CO₂ Emissionen auf ein Minimum zu reduzieren, wurde das Übel beseitigt. Nicht viel anders war es in den Industriezentren Westeuropas (z. B. Ruhrgebiet). Gegenmaßnahmen verhalfen wesentlich zur Verminderungen der Schadstoffe.

Muß das Klima jetzt erhalten, um menschliches Versagen zu bescheinigen? Genügt es nicht darauf hinzuweisen, welche Schäden in der Natur angerichtet werden, um zu zeigen, daß der derzeitige Weg im Industrie-Euphorismus der falsche ist? Ist es notwendig das Klima dafür zu strapazieren?

Literatur:

Dr. R. Böhm: Lufttemperaturschwankungen in Österreich seit 1775, ZAMAG, Wien 1992

Viktor Paschinger: Pasterzenstudien; Festschrift zum 100jährigen Bestand des Naturwissenschaftl. Vereins für Kärnten; XI. Sonderheft, CARINTHIA II. 1948

Hann-Süring: Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1939

H. Reuter: Die Wissenschaft vom Wetter, Verständliche Wissenschaft, 1968

I. Auer, R. Böhm, H. Mohrl: Die Hochalpinen Klimaschwankungen in den letzten 105 Jahren, 88. – 89. Jahresbericht d. Sonnblickvereines, 1990/91

Christian Pfister: Wetter Nachhersage, Mannheimer Forum 1989/90, Zürich 1990

Siegfried Schwarzl: Klimabewegungen und ihre Auswirkungen auf den Abfluß in den Alpen, IHTERPRAEVENT, Bern 1992

Jahresbericht des Sonnblickvereines. 1. Band

S. Schwarzl: Die klimatischen Ursachen d. extremen Gletschervorstöße Ende d. 16.: Jhdts. u. d. Niedergang d. Goldbergbaues...; Wetter und Leben 1980

H. v. Rudloff: Die Schwankungen und Pendelungen d. Klimas in Europa...; Die Wissenschaft; Vieweg 1967

Veröffentlichungen IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Working Group I.

H. v. Rudloff: Die Klimakatastrophe: Ja oder Nein? karlsruher pädag. beitr. 26/1992

Schönwiese, C. D., Diekmann, B.: Der Treibhaus-Effekt: Sachbuch rororo, Rohwolt Reinbeck (1989)

F. Lauscher: a) Von Kohlendioxid, Forellen und Fichten, Eigenverlag Oktober 1992

b) Neubearbeitung d. Messungen d. bodennahen Ozons in Wien zwischen 1853 und 1990, Eigenverlag Oktober 1991

Bisher in dieser Broschürenreihe erschienen:

- 1 Otto Koenig, Heimtierhaltung im Dienst von Erziehung und Bildung, 1985, Wien.
- 2 Max Liedtke, Technik – Erlösung oder Sündenfall des Menschen. Zum Problem der Humanität in der technischen Entwicklung, 1985, Wien.
- 3 Kurt Schimunek, Wasserwirtschaftliche Begleitmaßnahmen im Zusammenhang mit der Errichtung von Donaukraftwerken, 1985, Wien.
- 4 Gerhard Fasching, Werkstoffwissenschaft und Umweltforschung, 1986, Wien.
- 5 Hans S. Schratzer, Josef Trauttmansdorff, Gartenteich – Schulteich, 1986, Wien.
- 6 Wilhelm Kühnelt, Gibt es Prioritäten im Umweltschutz? 1986, Wien.
- 7 Otto Koenig, Grundriß eines Aktionssystems des Menschen, 1986, Wien.
- 8 Max Liedtke, Der Mensch und seine Gefühle, 1987, Wien.
- 9 Gerald Dick, Peter Sackl, Einheimische Amphibien – verstehen und schützen, 1988, Wien.
- 10 Helmut Kukacka, Gerald Dick, Hans Peter Kollar, Hans Schratzer, Josef Trauttmansdorff, Gerhard Fasching, Otto Koenig, Uwe Krebs, Max Liedtke, 1. Tagung des wissenschaftlichen Beirates – Vortragstexte, 1989, Wien.
- 11 Hans Peter Kollar, Arten- und Biotopschutz am Beispiel der Großtrappe (*Otis tarda L.*), 1988, Wien.
- 12 Helmut Kroiss, Siegfried Schwarzl, Peter Brauchl, 2. Tagung des wissenschaftlichen Beirates – Vortragstexte, 1989, Wien.
- 13 Otto Koenig, Das Institut für angewandte Öko-Ethologie, 1990, Wien.
- 14 Hans Peter Kollar, Marianne Seiter, Biber in den Donau-Auen östlich von Wien – Eine erfolgreiche Wiederansiedlung, 1990, Wien.
- 15 Gerald Dick, Fließgewässer, Ökologie und Güte – verstehen und bestimmen, 1990, Wien.
- 16 Otto Koenig, Konrad Lorenz, Oskar Heinroth, Beiträge zur Biologie, namentlich Ethologie und Psychologie der Anatiden, 1990, Wien.
- 17 Kurt Schimunek, Roswitha Kobzina-Renner, Wolfgang Hosiner, Biotope im Bereich der Österreichischen Donaukraftwerke, 1990, Wien.
- 18 Otto Schober, Ökologisches Verhalten als Unterrichtsprinzip, Beispiel: Deutschunterricht und Ökologie, 1991, Wien.
- 19 Josef Trauttmansdorff, Ethologie und Ökologie des Kormorans (*Phalacrocorax carbo*) an der Österreichischen Donau, 1992, Wien.
- 20 Josef Trauttmansdorff, Workshop „Der Kormoran“, Versuch einer Konfliktlösung zwischen Naturschutz und Fischerei, Fachvorträge und Ergebnisse, 1993, Wien.
- 21 Christian-Dietrich Schönwiese, Siegfried Schwarzl, Klimaänderung/CO₂/Ozon, 6. Tagung des wissenschaftlichen Beirates, 1994, Wien.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Umwelt - Schriftenreihe für Ökologie und Ethologie](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [21](#)

Autor(en)/Author(s): Schönwiese Christian-Dietrich, Schwarzl Siegfried

Artikel/Article: [Klimaänderung/CO2/Ozon. 6. Tagung des wissenschaftlichen Beirates. 1-39](#)