

Zeitschrift: Mitteilungen / Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn
Band: 38 (1999)

Artikel: Die globale Erwärmung bedroht Existenz und Schönheit der Gletscher
Autor: Frey, Karl
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-543385>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die globale Erwärmung bedroht Existenz und Schönheit der Gletscher

von Dr. Karl Frey

Adresse des Autors:

Dr. Karl Frey
Haldenstrasse 18
4600 Olten

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	75
2. Die Klimaänderungen seit der letzten grossen Eiszeit	76
3. Das vorchristliche Klima	77
4. Das Klima bis zum Mittelalter	77
5. Die kleine Eiszeit	77
6. Von kälteren Zeitperioden zur Erwärmung der Gegenwart	78
7. Luftverschmutzung und Treibhauseffekt	79
8. Von den Eiszeiten zum Gletscherschwund	80
9. Die Schönheit der Gletscher	82
10. Klimaänderungen und Naturkatastrophen	93
11. Literaturverzeichnis	94

Die globale Erwärmung bedroht Existenz und Schönheit der Gletscher

Zusammenfassung

Es wird die Klimaentwicklung von der letzten grossen Eiszeit bis zur Gegenwart dargelegt, die eine weltweite Erwärmung zeigt, verursacht vorwiegend durch die Luftverschmutzung und den Treibhauseffekt. Ebenso werden die Vorstösse und Rückzüge der Gletscher beschrieben, mit dem Gletscherschwund in der heutigen Zeit, der sich noch fortsetzt. In mehreren Bildern wird die Schönheit der Gletscher gezeigt, die eines der Opfer einer Klimaveränderung werden könnten. Mit einem Blick in die Zukunft wird auf das mögliche und bedenkliche Gefahrenpotential hingewiesen, das eine weitere allgerneine Klimaerwärmung bringen könnte, sofern nicht schon heute weltweit wirksame und koordinierte Massnahmen ergriffen werden.

Summary

The globally rising temperatures threaten the existence and the beauty of the glaciers.

The development of the climate from the last great glacial period up to the present shows worldwide rising temperatures, mainly due to air pollution and the «greenhouse-effect». We are informed, too, how the glaciers have been moving forwards and backwards and how they

have recently been melting away, a phenomenon which is likely to continue. Several photographs show us the beauty of the glaciers, which might become one of the victims of a changing climate. If we look into the future, our attention is drawn to the possible or even probable dangers that a further global warming up of the climate is expected to cause unless effective and co-ordinated measures are taken without delay.

Résumé

Le réchauffement global menace l'existence et la beauté des glaciers. La brochure présente l'évolution du climat depuis la dernière glaciation jusqu'à nos jours, montrant un réchauffement général sur l'ensemble de la planète, dû principalement à la pollution atmosphérique et à l'effet de serre. Description est faite de l'avance et du recul des glaciers, avec leur fonte actuelle, qui se poursuit.

Plusieurs illustrations montrent la beauté des glaciers, victimes potentielles des modifications climatiques.

Un regard sur l'avenir évoque enfin le danger que présenterait un réchauffement général du climat, perspective préoccupante si des mesures efficaces et coordonnées à l'échelle mondiale ne sont pas prises dès à présent.

1. Einleitung

Das Klima und seine Veränderungen haben das Leben auf unserem Planeten zu allen Zeiten mitbestimmt. Auch geringfügige Klimawandlungen nahmen einen grossen Einfluss auf die kulturelle Entwicklung der Menschheit. Die Temperaturänderungen, die in den letzten 500 000 Jahren ein Ausmass von über 10 Grad in ihren Mittelwerten erreichten, stehen in engem Zusammenhang mit dem Vorstossen und dem Schwund der Gletscher. Obwohl das Klima in den letzten 10 000 Jahren einen einigermaßen stabilen Charakter aufwies, sind im Verlauf der letzten Jahrzehnte die globale Erwärmung und ein möglicher folgenreicher Klimawandel in den Vordergrund des allgemeinen Interesses gerückt. Erst in den letzten Jahren liess man sich jedoch davon überzeugen, dass unser

Klima nicht nur einen natürlichen Schwankungsbereich aufweist, sondern dass menschliche Aktivitäten im Industrie- und Konsumzeitalter eine unaufhaltsame und bedenkliche Entwicklung eingeleitet haben, dies insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Dieser gewaltigen globalen Herausforderung gilt es heute zu begegnen, um mit wirksamen und weltweit koordinierten Massnahmen eine Klimakatastrophe abzuwenden oder in ihren Folgen zu mildern, um die Lebensqualität auch im nächsten Jahrhundert erhalten zu können.

Die «Wirtschaftskommission der Vereinigten Staaten von Europa» (ECE) startete 1977 ihr kooperatives Programm zur Berechnung und Überwachung der Luftverschmutzung in Europa.

Im Februar 1979 fand in Genf die erste Weltklimakonferenz statt. An der Umweltkonferenz in Helsinki unter-

zeichneten die Regierungsvertreter von 21 Ländern am 9. Juli 1985 ein Protokoll über weitere Massnahmen zum Umweltschutz in Europa.

Im November 1988 wurde ein «Zwischenstaatliches Gremium über den Klimawandel» (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC), durch die «Weltorganisation für Meteorologie» (IMO) eingesetzt, im Rahmen des «Umweltprogramms der Vereinten Nationen» (UNEP). Ein erster Bericht erschien im Jahr 1990, und der zweite wurde am «Klimagipfel von Rio de Janeiro» im Juni 1992 vorgelegt. Bereits im November 1990 hatte in Genf die zweite Weltklimakonferenz stattgefunden. Eine wirksame Reduktion der Treibhausgase, insbesondere von Kohlendioxid, war ein Haupttraktandum einer «Berlinerkonferenz» vom April 1995, wobei vor allem die bedrohten Inselstaaten mutige und energische Massnahmen forderten. Schliesslich wurden an der «Klimakonferenz von Kyoto» in dieser Hinsicht gewisse Fortschritte erreicht, die jedoch in keiner Weise den wünschbaren Zielen entsprachen.

2. Die Klimaänderungen seit der letzten grossen Eiszeit

Klimaschwankungen lassen sich mit immer grösser werdender Zuverlässigkeit in der langen Geschichte unserer Erde nachweisen. Das Alter unseres Planeten wird auf ungefähr viereinhalb Milliarden Jahre geschätzt. Die Klimaverhältnisse der Vergangenheit sind teilweise in der Natur archiviert. Wichtige Hinweise sind enthalten in Meeressedimenten, den Eisbohrkernen, die man den Gletschern der Arktis und der Antarktis entnimmt, in Sauerstoffisotopen, in den Jahresringen konservierter Bäume und in den Torfmooren.

Es wird vermutet, dass das Klima unserer Erde über eine Zeitspanne von nahezu vier Milliarden Jahre von sehr warmen und heissen Zeitperioden bestimmt wurde. Erst die Verschiebung der Kontinente, die vor ungefähr 500 Millionen Jahren begann, hat es ermöglicht, dass sich unsere Polkappen in gewissen Zeitperioden mit einer Eiskappe bedecken konnten, die dazu



Abb. 1: Der grosse Klimawandel in der Region Luzern: Vor 20 Millionen Jahren bestand im schweizerischen Mittelland ein tropisches Klima, vor 20000 Jahren lag die gleiche Gegend unter einer 800 bis 1000 Meter dicken Eisschicht.

beitrug, das Weltklima abwechslungsreicher zu gestalten.

Als die heutige Antarktis vom früheren zusammenhängenden Urkontinent Gondwana immer weiter nach Süden driftete, begann dort vor 38 Millionen Jahren ein Temperatursturz, der zur allgemeinen Vereisung des Kontinents führte, die ihren Höhepunkt vor etwa vier Millionen Jahren erreichte. Von diesem Zeitpunkt an haben sich die weltweiten und erheblichen Temperaturschwankungen gehäuft. In den letzten drei Millionen Jahren liessen sich nicht weniger als 44 Eiszeiten nachweisen, die zuerst auf der Südseite der Erdkugel auftraten.

Veränderungen in der Neigung der Erdachse und deren Schwankungen während der Drehung der Erde um die Sonne haben ebenfalls wesentlich zu Klimaänderungen beigetragen und zum Wechselspiel von Eiszeiten und wärmeren Zeitperioden in den letzten 500 000 Jahren.

Während der letzten grossen Kälteperiode, der etwa 100 000 Jahre dauernden Würmeiszeit, lagen weite Teile der nördlichen Hemisphäre unter einer dicken Eisdecke. Das Ende dieser letzten grossen Eiszeit begann vor ungefähr 18 000 Jahren.

3. Das vorchristliche Klima

Doch die auf die Würmeiszeit folgende Periode einer allmählichen und umfassenden Erwärmung wurde um die Zeit von 10 700 v. Chr. jäh gestoppt und von einer weiteren kurzen Eiszeit abgelöst. In Europa sanken die Durchschnittstemperaturen innerhalb von 100 Jahren um rund 5 Grad. Die Niederschlagsmenge nahm ab, die Baumgrenze sank um 200–300 Meter und die Alpengletscher rückten wieder vor. Diese Epoche, die «Jüngere Dryas», dauerte ungefähr 1200 Jahre. Doch dann folgte wieder eine aussergewöhnlich rasche Erwärmung: In nur 50 Jahren stiegen die Temperaturen wieder auf das voreiszeitliche Niveau.

Diese für Mittel- und Nordeuropa tiefgreifende Klimaänderung trat aus den folgenden Gründen ein: Die Schmelze der gewaltigen Eismassen aus der Würmeiszeit führte dem westlichen Nordatlantik grosse Süswassermengen zu. Dadurch wurde die von den Tropen nordostwärts fliessende Warmwasserströmung abgeschwächt und sogar unterbrochen. Deshalb wurde die «Golfstrom-Heizung» Europas abgestellt, was einen rapiden Kälteeinbruch bewirkte.

Eine derartige Entwicklung kann auch in Zukunft nicht ausgeschlossen werden: Trotz globaler Erwärmung würde es in Europa kälter.

Nach dem Zeitabschnitt «Jüngere Dryas» setzte sich dann verbreitet ein wärmeres Klima durch. Im Mittleren Osten und im Indusdal waren die Anfänge der Landwirtschaft festzustellen.

Von 6000 bis 4000 v. Chr., dem «Optimum des Holozäns», lagen die Temperaturen um rund 2 Grad über den Werten der letzten Jahrhundertwende. Die Sahara, vorher noch fruchtbar, erhielt allerdings immer weniger Niederschläge und trocknete allmählich aus. Doch in der Region vom Nil und im Nahen Osten konnten sich damals die ersten Hochkulturen entwickeln.

Nach 4000 v. Chr. setzte für ungefähr zwei Jahrhunderte wieder eine kühlere Klimaperiode ein, die ihren Höhepunkt in der «Löbchenkaltphase» (3340 bis 3175 v. Chr.) erreichte.

Dies war die Zeit der Entstehung der ersten Städte in Mesopotamien und der Gründung der ersten ägyptischen Dynastie. Vor allem in Nordamerika und auch in der Schweiz rückten die Gletscher wieder vor.

Nach einem erneuten Temperaturanstieg folgte von 1300 bis 500 v. Chr. in weiten Regionen der Erde nochmals eine kältere Zeitperiode.

4. Das Klima bis zum Mittelalter

Der relativ warmen und niederschlagsreichen «Römerzeit», bis ungefähr 500 n. Chr., folgte eine Zeit leichter Abkühlung. Historisch war diese mit der Zeit der Völkerwanderung verbunden. In den Voralpen musste in den höheren Lagen die Alpwirtschaft eingestellt werden, und die Alpenpässe wurden unpassierbar. Von 800 bis 1100 n. Chr. trat wieder eine wärmere Zeitperiode ein, mit dem mittelalterlichen Optimum um die Jahrtausendwende. In weiten Regionen Englands und Mitteleuropas gediehen die Reben ausgezeichnet. Der Wikinger Erich der Rote entdeckte im Jahr 983 das südliche Grönland, eine damals grüne Region, die eine Besiedelung und auch eine Viehzucht ermöglichte.

5. Die kleine Eiszeit

Im Laufe des 14. Jahrhunderts setzte eine allgemeine Klimaverschlechterung ein. In der Zeit zwischen 1313 und 1371 häuften sich die kühleren sommerlichen Jahreszeiten. Später kamen auch strengere Winter dazu. Das Packeis der arktischen Regionen dehnte sich immer weiter nach Süden aus, und in den Alpenregionen stiessen die Gletscher vor, mit den Höhepunkten um 1600 und 1850.

Am 29. September 1551 traten Schneefälle ein, bei denen die Schneedecke für vier Wochen erhalten blieb. Zwischen 1565 und 1600 sanken die Temperaturen gegenüber den vorangegangenen Jahrzehnten im Mittel um 0,6 Grad. Sehr kalte und teils auch schneereiche Winter traten ein in den Jahren 1561, 1573, 1608, 1662, 1684, 1685, 1692, 1695, 1700 und 1709.

Am 17. Februar 1573 wurde die Statue des Evangelisten Johannes erstmals vom schweizerischen Münsterlingen über den gefrorenen Bodensee ins deutsche Hagenau getragen. Mitte Februar 1684 bewegte sich die Eisprozession mit dem Evangelisten wieder in umgekehrter Richtung über den zugefrorenen Bodensee; und dieser Brauch wiederholte sich auch im Februar 1830 und im Januar 1963.

Eine ausserordentliche und hochwinterliche Frühlingsperiode brachte das Jahr 1785. Erst am 15. März froh der Zürichsee zu. Es war dies das späteste Vereisungsdatum. In Basel betrug das Temperaturmittel für den März 1785 –2,8 Grad, gegenüber dem Rekordwert von 10,4 Grad im März 1994!

Ein weiterer Höhepunkt im Temperaturrückgang ist im Zeitabschnitt 1812–1817 eingetreten. Als «Jahr ohne

Sommer» ist 1816 in die Witterungsgeschichte eingegangen. Ein gewaltiger Ausbruch des Vulkans Tambora auf der Insel Bali, im April 1815, führte zu einer weltweiten Abkühlung.

Der Winter 1829/30 wurde in den meisten Regionen der Schweiz zum kältesten seit Beginn der Messungen, die in Basel im Jahr 1755 begannen. In Basel sank die Temperatur im Februar 1830 auf den tiefsten bisher gemessenen Wert von -27 Grad!

Von 1830 bis 1860, dem Ende der «Kleinen Eiszeit», bestand eine niederschlagsreichere, jedoch immer noch kalte Wetterperiode, mit schneereichen Wintern. Am 19. Februar 1855 wurde in Basel die bisher höchste Schneehöhe von 75 cm gemessen!

6. Von kälteren Zeitperioden zur Erwärmung der Gegenwart

Seit der Einrichtung des schweizerischen Wetterbeobachtungsnetzes durch die Schweizerische Meteorologische Anstalt im Jahr 1864 sind die Klimaänderungen der letzten 136 Jahre in unserem Land gründlich erfasst und dokumentiert.

Abb. 2 gibt, mit den Mittelwerten von Jahrfünften, einen anschaulichen Überblick über den Verlauf der homogenisierten Jahresmitteltemperaturen der Stationen Basel, Zürich und Olten.

Vorerst sei hingewiesen auf die kältesten Jahre, Winter und Monate, die in der Zeitperiode 1864–1998 in Olten eingetreten sind:

Kälteste Jahre: 1879 mit $6,85^{\circ}$, 1864 mit $6,98^{\circ}$, 1887 mit $7,14^{\circ}$.

Kälteste Winter: 1879/80 mit $-5,1^{\circ}$, 1890/91 mit $-4,6^{\circ}$, 1894/95 mit $-4,5^{\circ}$.

Kälteste Monate: Dezember 1879 mit $-9,4^{\circ}$, Februar 1956 mit $-8,2^{\circ}$, Februar 1895 mit $-7,5^{\circ}$.

Es zeigt sich deutlich, dass die kältesten Zeitperioden seit 1864, mit Ausnahme vom Februar 1956, noch im 19. Jahrhundert eingetreten sind.

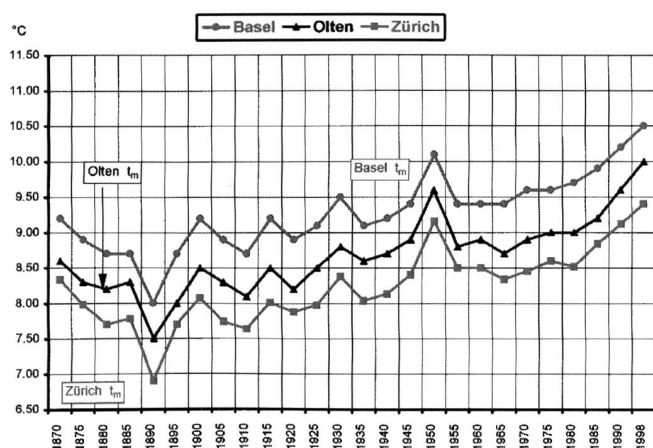


Abb. 2: Anstieg der Jahrestemperatur in Basel, Olten und Zürich 1866–1998.

Temperaturmittelwerte von Jahrfünften und 1991–1998

In den zwei kältesten Wintern im 20. Jahrhundert, 1962/63 mit $-4,0^{\circ}$ und 1928/29 mit $-3,7^{\circ}$, die beide eine Aaregfröni aufwiesen, war auch der Zürichsee, wie in den bereits erwähnten drei kältesten Wintern, vollständig zugefroren. Hinsichtlich der Dauer der Eisbedeckung des Zürichsees hält der Winter 1962/63 mit 5 Wochen den Rekord in der neueren Zeit. Die Seegfröni dauerte vom 1. Februar bis zum 8. März 1963!

Abb. 2 zeigt den klimamässig bedeutungsvollen und ähnlichen Temperaturverlauf der Jahrestemperaturen in Basel, Olten und Zürich.

Der Temperaturanstieg, der innerhalb eines Jahrhunderts erfolgt, ist sehr beeindruckend. Er beträgt zwischen den beiden Zeitperioden 1886–1890, dem Tiefstwert der Jahrestemperaturen, und 1991–1998, dem Mittelwert der letzten 8 Jahre, in Basel, Olten und Zürich $2,5^{\circ}$!

Für die allgemeine Klimaentwicklung aussagekräftiger sind die Änderungen der Temperaturmittelwerte zwischen den beiden 37jährigen Zeitperioden 1864–1900 und 1961–1998.

Für Olten ergeben sich zwischen diesen beiden längeren Zeitabschnitten die folgenden Temperaturänderungen für die Jahreszeiten und die Jahre:

Winter: $+1,8^{\circ}$, Frühling: $+0,8^{\circ}$, Sommer: $+0,4^{\circ}$, Herbst: $+1,2^{\circ}$ und Jahrestemperaturen: $+1,05^{\circ}$, in ähnlicher Grössenordnung wie in Basel. Zwischen den beiden gleichen Zeitperioden betragen die Änderungen der gefallenen Niederschlagsmengen in Olten:

Winter: $+36,5\%$, Frühling: $+8,8\%$, Sommer: $-5,5\%$, Herbst: $-5,9\%$ und für die Jahresniederschläge: $+5,4\%$. Der deutlichste Temperaturanstieg ist für die Winter eingetreten, die auch am niederschlagsreichsten geworden sind, während die sommerlichen und herbstlichen Jahreszeiten etwas weniger Niederschläge aufweisen.

In der Zeitperiode 1864–1998, nach der Baslerreihe auch seit 1755, sind in Olten und Basel die folgenden 8 wärmsten Jahre eingetreten:

	Olten	Basel
1.	1994: $11,19^{\circ}$	1994: $11,67^{\circ}$
2.	1990: $10,34^{\circ}$	1990: $10,81^{\circ}$
3.	1992: $10,20^{\circ}$	1992: $10,70^{\circ}$
4.	1997: $10,14^{\circ}$	1988: $10,66^{\circ}$
5.	1995: $10,08^{\circ}$	1997: $10,62^{\circ}$
6.	1998: $10,03^{\circ}$	1995: $10,62^{\circ}$
7.	1988: $10,01^{\circ}$	1989: $10,59^{\circ}$
8.	1961: $10,00^{\circ}$	1998: $10,59^{\circ}$

Klimatologisch ist es als ausserordentliche Tatsache zu werten, dass in den letzten 11 Jahren 1988–1998 in Olten 7 und in Basel sogar 8 der bisher wärmsten Jahre eingetreten sind! Das bisher wärmste Jahr 1994 war in Olten $4,3^{\circ}$ und in Basel $4,4^{\circ}$ wärmer als das kälteste Jahr 1879!

Schliesslich ist festzuhalten, dass die Mitteltemperatur der Erde im Jahr 1998 noch etwas höher lag als im bisher wärmsten Jahr 1997 und den Durchschnittswert der Zeitperiode 1961 bis 1990 um den ausserordentlichen Wert von $0,6$ Grad übertraf. Damit ist unser Planet

ungefähr wieder so warm geworden, wie dies während des «Optimums» im Holozän vor 7000 Jahren der Fall gewesen war.

7. Luftverschmutzung und Treibhauseffekt

Die kurzwellige Sonnenstrahlung dringt mit verhältnismässig wenig Dämpfung durch die Erdatmosphäre in den Boden und die Gewässer ein, wobei ein Teil der Strahlung durch Wolken, Aerosole und Staub ins All zurückgeworfen oder absorbiert wird. Die Erde strahlt mit einer Verzögerung die gespeicherte Sonnenenergie, teilweise mit einer langwelligen Wärmestrahlung, in die Lufthülle zurück. Es ist vor allem der in der Atmosphäre vorhandene Wasserdampf, der über ein ausgeprägtes Absorptionsvermögen für die langwellige Rückstrahlung verfügt und damit entscheidend für die Erwärmung der bodennahen Luftschichten beiträgt. Die Erde erhält auf diese Weise eine Mitteltemperatur von rund 15°. Ohne diese Treibhauswirkung würde die Erdmitteltemperatur ungefähr bei -18 Grad liegen und damit denkbar ungünstige Bedingungen für die Lebensmöglichkeiten schaffen.

Nebst dem Wasserdampf, der zudem durch Kondensationsvorgänge der Atmosphäre grosse Wärmemengen zuführt, existieren zahlreiche Spurengase, die den natürlichen Treibhauseffekt in unterschiedlicher Weise zusätzlich verstärken. Der weitaus grösste Anteil dieses zusätzlichen Erwärmungspotentials, mit einem Anteil von nahezu 70 Prozent, entfällt auf das Kohlendioxid (CO_2). Dazu sind auch das Methan (CH_4), das Distickstoffoxid (N_2O), die Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) und das Ozon (O_3) zu beachten.

Saubere und natürliche Luft ist für das Leben von Pflanzen, Tieren und Menschen ebenso wichtig wie Wasser und Nahrung. Durch menschliche Aktivitäten werden, insbesondere seit Beginn des Industriezeitalters, in zunehmendem Mass Gase, Aerosole, Staubeilchen und weitere Verunreinigungen in die Atmosphäre ausgestossen. Die Entwicklung dieser schädlichen Emissionen zeigte seit der Mitte des 20. Jahrhunderts einen beschleunigten Anstieg. Zu diesem Zeitpunkt, auch als «1950er Syndrom» bezeichnet, erfolgte eine verhängnisvolle Weichenstellung, die in den letzten 20 Jahren zu einer ökologischen Krise geführt hat, verbunden mit pessimistischen Zukunftsaussichten, die für die Menschheit eine grosse Herausforderung darstellen.

Der eindrucksvollen Dokumentation vom «Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft» (1996) über «Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010» ist zu entnehmen, dass die meisten Schadstoffe in unserer Luft in den 70er und 80er Jahren unseres Jahrhunderts ihren Höhepunkt erreicht haben. Die Wachstumskurven in den verschiedensten Bereichen der Luftverschmutzung werden wesentlich verursacht durch ein enormes Wirtschaftswachstum und einen lawinenartigen Anstieg des Verkehrsvolumens auf der Strasse und in der Luft, gefördert ebenfalls durch sinkende Realpreise für die fossile Energie.

Gestützt auf das «Umweltschutzgesetz» hat die Schweiz im März 1986 die «Luftreinhalte-Verordnung»

erlassen. Durch ein umfassendes Massnahmeprogramm konnte bei zahlreichen Schadstoffen der Anstieg gebremst und sogar eine wesentliche Abnahme erreicht werden. Im Vordergrund stehen die erzielten Verbesserungen beim Schwefeldioxid, dem Kohlenmonoxid, dem Chlorwasserstoff, dem Fluorwasserstoff, dem Blei und den für die Ausweitung des Ozonloches verantwortlichen Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff-Emissionen.

Ein grosser Handlungsbedarf besteht noch bei den flüchtigen organischen Verbindungen und ganz besonders bei den Stickoxiden, die auch Vorläufersubstanzen sind für den in den sommerlichen Jahreszeiten so stark angestiegenen Ozongehalt in der unteren Troposphäre. Das grösste Problem stellt jedoch noch immer das Kohlendioxid dar, im Bereich der Luftschadstoffe wesentlich mitverantwortlich für den anthropogenen Treibhauseffekt.

Quellengruppen für die Kohlendioxid-Emissionen in Mio. Tonnen pro Jahr, 1900–2010

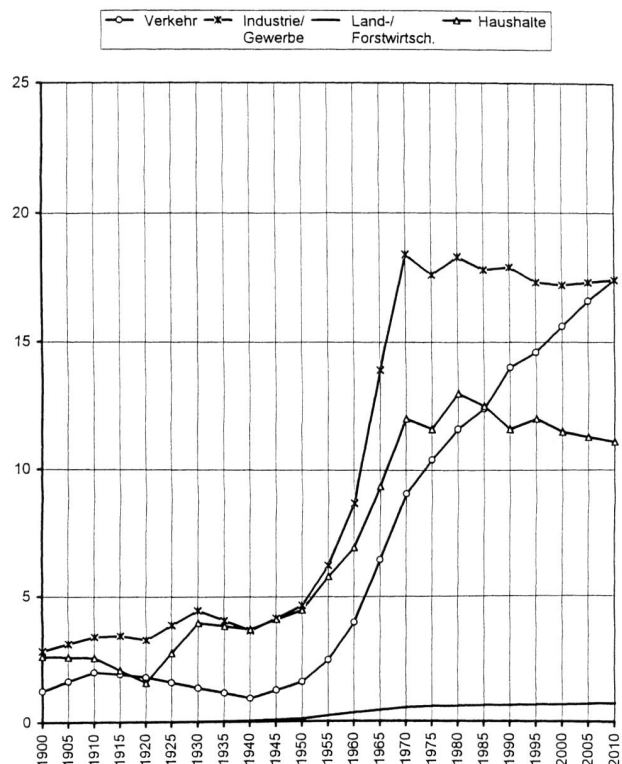


Abb. 3: Die Quellengruppen für die Kohlendioxid-Emissionen in Millionen Tonnen pro Jahr im 20. Jahrhundert bis zum Jahr 1995 und der Schätzung bis zum Jahr 2010

Abb. 3 zeigt, wie sprunghaft das Kohlendioxid bei uns in der Schweiz in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts angestiegen ist mit dem Anteil der Verursachergruppen. Eindeutig ist erkennbar, dass der «Verkehr», vor allem auf der Strasse und in der Luft, bei den Emissionen den steilsten und nur schwer zu bremsenden Anstieg enthält.

Analysen von Eisbohrkernen aus der Antarktis haben ergeben, dass in den letzten 160 000 Jahren ein enger Zusammenhang bestand zwischen dem Gehalt der

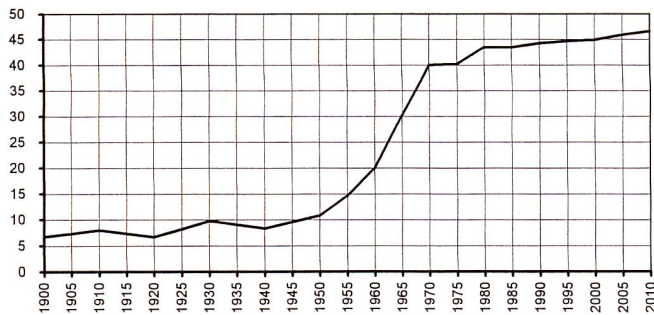


Abb. 4: Gesamtschweizerische Kohlendioxid-Emissionen in Millionen Tonnen pro Jahr von 1900 bis 1995 und der Schätzung bis zum Jahr 2010

Atmosphäre an Kohlendioxid und der Erdmitteltemperatur: Die Eiszeitperioden waren mit einem tiefen Gehalt an Kohlendioxid und auch einem tieferen Meeresspiegel verbunden. Seit der vorindustriellen Zeit ist der Gehalt unserer Lufthülle an Kohlendioxid um rund 30 Prozent angestiegen.

Abb. 4 zeigt, dass die Kohlendioxid-Emissionen auch in der Schweiz noch weiter ansteigen, wenn nicht wesentliche Massnahmen getroffen werden. Die bundesrätliche «Kohlendioxid-Politik» möchte jedoch, vor allem durch energie- und verkehrspolitische Massnahmen, die Kohlendioxid-Emissionen bis zum Jahr 2010 um 10 Prozent gegenüber dem Stand von 1990 vermindern.

Entscheidende Weichenstellungen müssen nun am Ende des 20. Jahrhunderts erfolgen, damit der Menschheit im neuen Jahrtausend viel Unheil erspart bleibt. Es sind viele gute Ansätze vorhanden, um mit einem Ausbau der Umwelttechnik sowie energiesparenden und schadstoffärmeren Produktionsverfahren, unsere Umwelt einer geringeren Belastung auszusetzen. Die Ökonomie sollte in vermehrtem Mass mit der Ökologie in Einklang gebracht werden, mit einem Ausbau des qualitativen Wirtschaftswachstums. Produktions- und Lebensweisen sollten sich wieder dem Ziel nähern, dass mit einem haushälterischen Umgang mit den Ressourcen nur so viele Schadstoffe freigesetzt werden, wie unser Ökosystem zu bewältigen vermag.

Die allgemeine Erwärmung durch den Treibhauseffekt kann jedoch auch eine Dämpfung und in gewissen Regionen sogar eine Umkehr erfahren. Durch grössere Vulkanausbrüche, die riesige Mengen von Staub, Russ und Asche in die Atmosphäre befördern, erfolgt eine Erwärmung der Stratosphäre, jedoch eine Abkühlung der bodennahen Schichten, was durch ein vorübergehendes Absinken der Erdmitteltemperatur mehrfach nachgewiesen werden konnte.

Erwähnt seien die Vulkanausbrüche vom Krakatau, auf einer Insel zwischen Java und Sumatra, im Jahr 1883, vom Vulkan Tambora in Indonesien im April 1815, vom Vulkan Mt. St. Helen im Staat Washington am 18. Mai 1980 und dem Vulkan Pinatubo auf den Philippinen am 12. Juni 1991.

Einen abkühlenden Einfluss haben ebenso Sulfat-Aerosole, die in der Atmosphäre durch Schwefeldioxid-Emissionen entstehen und die einfallende Sonnenstrahlung in den Weltraum zurück reflektieren. Europa könnte auch eine Abkühlung erfahren, wenn

durch eine zukünftige Klimaentwicklung eine Ablenkung den Golfstromes eintreten würde, was durch eine grössere Zufuhr von Süsswasser, verursacht vom Abschmelzen arktischer Gletscher, und damit einer Abnahme des Salzgehaltes der Meeresströmung möglich wäre.

8. Von den Eiszeiten zum Gletscherschwund

Die Gletscher reagieren sehr intensiv auf Temperaturänderungen sowie die Niederschlagsmengen und geben mit ihren Vorstössen und Rückzügen wichtige Hinweise zu eingetretenen Klimaveränderungen. Die Epoche des Quartärs, diese umfasst die letzten 1–1,5 Millionen Jahre, wird auch als Eiszeitalter bezeichnet. Es war weltweit ein Zeitabschnitt, in dem mehrere längere Kaltzeiten (Glaziale), mit ausgedehnten Gletschervorstössen, abwechselten mit kürzeren Warmzeiten (Interglaziale), die zu einem Gletscherschwund führten und einem Wiederaufkommen der Vegetation.

Bis heute hat man mindestens sechs grössere quartäre Vereisungsphasen nachgewiesen, die nach Flussnamen im süddeutschen Raum benannt sind, nämlich die Biber-, Donau-, Günz-, Mindel-, Riss- und Würmeiszeit. Die Würm-Vereisung war die letzte grosse alpine Kaltzeit (vor 110 000–10 000 Jahren), deren Spuren heute noch deutlich erkennbar sind.

Die spätglaziale Klimaerwärmung erfolgte nicht kontinuierlich, sondern war mehrfach von Abkühlungsperioden unterbrochen, welche erneut zu Gletschervorstössen führten. Hinweise dazu geben beispielsweise die Moränenwälle und Eisrandterrassen, die an verschiedenen Stellen im Oberengadin sehr schön erhalten geblieben sind.

Die Abbildungen 5 und 7 geben Aufschluss über die Gletschervorstösse und die Gletscherschwundphasen in unserem Alpengebiet seit der letzten Eiszeit bis zur Gegenwart.

Die schlechteren Klimabedingungen führten im Laufe des 14. Jahrhunderts wieder zu einem Vorstoss der Gletscher, dies ebenso gegen Ende des 16. Jahrhunderts und in der Zeitperiode vor 1850.

Position und Verlagerung der Gletscherzunge (Bernina- bzw. Morteratschgletscher)

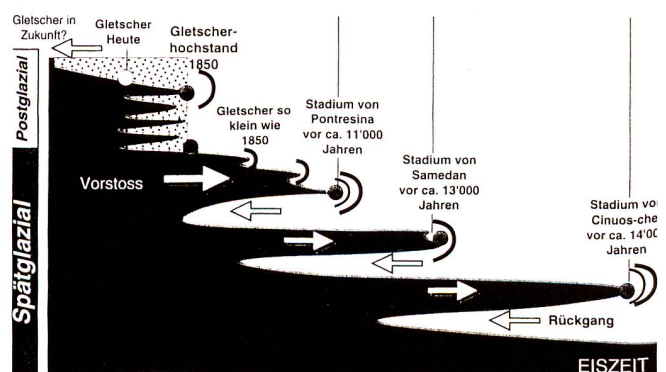


Abb. 5: Gletschervorstössperioden und Gletscherschwundphasen seit der letzten Eiszeit



Abb. 6: Der Grindelwaldgletscher nach einem Gemälde von Thomas Fairley im August 1835

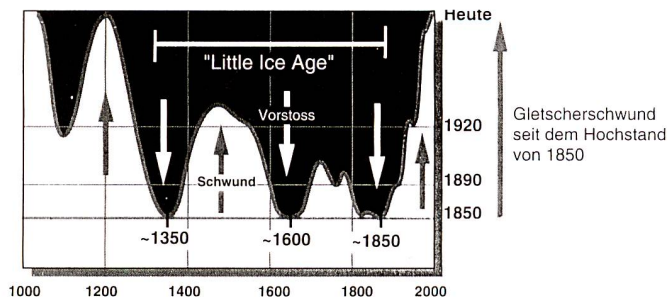


Abb. 7: Die Gletscherschwankungen während der «Kleinen Eiszeit»

In einer für das Wachstum der Gletscher günstigen Zeitperiode, mit schneereichen Wintern und kühlen Sommern, war der Grindelwaldgletscher von 1580 bis 1602 um rund 1 Kilometer vorgestossen und war 1835 (Abb. 6) in einer weiteren grösseren Wachstumsphase, bevor dann, nach 1860, der grosse Gletscherschwund einsetzte.

Seit dem Jahr 1880 hat man in den Schweizer Alpen die Länge der Gletscherzungen ausgemessen. Diese systematischen und langfristigen Messungen der Veränderung der Gletscher werden seit 1894 international koordiniert.

Die Gletscher sind weltweit die wichtigsten Klimaindikatoren. Im Zusammenhang mit dem Anstieg der Mitteltemperatur von einem Grad haben die Alpengletscher seit der Mitte des letzten Jahrhunderts rund einen Drittel ihrer Fläche und die Hälfte ihres Volumens verloren. Kurzfristige und geringfügige Vorstossphasen wurden von 1885 bis 1890, um 1920 und von 1965 bis 1985 verzeichnet. Die Gletscherzungen haben sich in der Schweiz seit dem letzten Jahrhundert um 1500 bis 2000 Meter zurückgebildet.

Wegen des warmen und niederschlagsarmen Sommers haben sich im Jahr 1998 72 von 74 vermessenen Gletschern in der Schweiz weiter zurückgezogen und verzeichneten Rekordschmelzwerte. Mit 111 Metern wies der Feegletscher den stärksten Rückgang auf.

Die für die Existenz der Gletscher wichtigen Schneegrenzen sind seit 100 Jahren um 100 bis 150 Meter angestiegen und haben damit auch einen wichtigen Einfluss auf die wirtschaftliche Entwicklung der Wintersportorte.

Klima- und Gletscherschwundsszenarien weisen auf bedenkliche Zukunftsaussichten hin: Bei einem weiteren Anstieg der Mitteltemperatur um $1,8^\circ$ bis zum Jahr 2050 würde die Schneegrenze um weitere 300 Meter ansteigen, vier Fünftel der heutigen Gletscher würden verschwinden und gesamthaft nur noch drei Zehntel der heutigen Gletscherflächen erhalten bleiben.

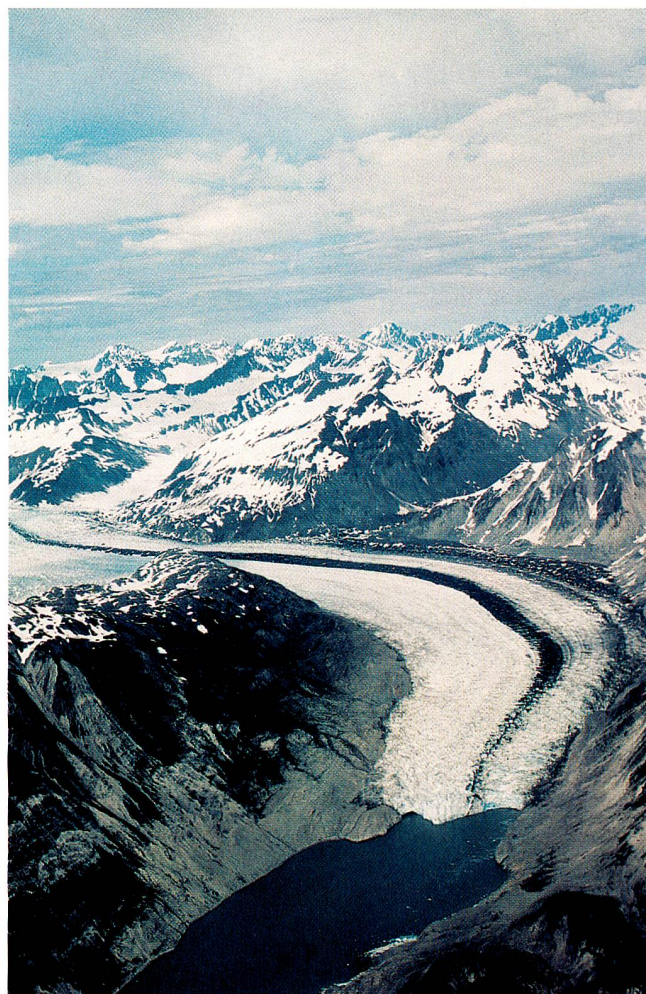
In unserem Alpen- und Voralpengebiet besteht ein für die Zukunft besonders wichtiges Gefahrenpotential mit dem ständigen Anstieg der Permafrostgrenze. Die von den Gletschern freigelegten Schutt- und Geröllgebiete weisen eine geringere Stabilität auf. Damit erhöht sich das Risiko von Bergstürzen, Erdbeben und Murgängen, die bei starken Niederschlägen ein katastrophales Ausmass annehmen können.

9. Die Schönheit der Gletscher

Der griechische Philosoph Homer bezeichnete im 8. Jahrhundert v. Chr. Gaia, die Erdgöttin, als die alles ernährende Kraft, die das Leben in der Luft, im Boden und im Wasser erhält. Später hat Plato die Mutter Erde als ein beseeltes und mit Vernunft begabtes Wesen bezeichnet, das unsere Umwelt mit Regenerationskräften zu schützen vermag. Die Philosophen wollten darauf hinweisen, dass eine Spaltung zwischen Natur und Mensch vermieden werden sollte und die selbstregulierende Kraft der Erde nur erhalten werden kann, wenn die Menschen unserer Umwelt mit Rücksicht und Ehrfurcht begegnen, um ein ökologisches Unheil abzuwenden.

Doch unsere Umwelt und die vielen Schönheiten unserer Erde sind heute durch den Menschen und eine Klimaänderung bedroht. Zu den Schönheiten der Natur gehört auch die Welt der Gletscher, die mich auf meinen Reisen in verschiedene Regionen des Erdballes immer wieder beeindruckt und fasziniert hat.

Die folgenden Bilder sollen symbolisch darauf hinweisen, dass es sich lohnt, heute einen grossen Einsatz zu wagen, unsere Umwelt, mit allen ihren Schönheiten, zu erhalten und nicht einem unheilvollen Zerstörungsprozess auszuliefern.



Gletscher vom Flugzeug aus
Über dem Gletschergebiet im Osten Alaskas
(24. Juni 1992)



Frontseite des Gletschers
Im Magdalenenfjord (Spitzbergen, 79° 34' N) am 13. Juli 1973



Antarktische Gletscherpracht
Im Lemairekanal (Antarktische Halbinsel, 65° 7' S) am 19. Februar 1990



*Ein Eisbergparadies
Im Eisfjord von Jakobshavn (Westküste Grönland, 69° 13' N) am 23. Juni 1985*



*Sonntägliche Stille bei leichtem Föhn
Gewaltige Eisberge in der Nähe eines der grössten Gletscher der Welt bei Jakobshavn*



Treibeis und Eisberge
Bei Paulet Island auf der antarktischen Halbinsel am 16. Februar 1990



Fahrt zur kalten und stillen Schönheit
Eisberg vor Cuverville Island am 18. Februar 1990



*Gipfel mit Wolkenkappe als Zentrum gewaltiger Gletscher
 Flug um den höchsten Berg Kanadas, den Mt. Logan (6050 m ü. M., 61° N) bei Föhnlage am 29. Juni 1992*



*Gletscher in föhniger Klarheit
 Auf der östlichen Leeseite vom Mt. Logan in den St. Eliasbergen im Grenzgebiet Kanada/Alaska*



*Die Schönheit von Gletschern und vereisten Bergen
Weite Gletscherflächen östlich vom Mt. Logan bei niederstürzendem Föhn*



*Die weisse und stille Einsamkeit
Über dem grössten nichtpolaren Gletschergebiet der St. Eliasberge am 28. Juni 1992*



Die Gletscher im Himalaja – Flug von Kathmandu nach Lhasa am 7. Juli 1993. Mt. Everest (8846 m ü. M.), Lhotse (8501 m ü. M.) und rechts Makalu (8475 m ü. M.)



Traumhaftes Panorama – Blick vom Kambalapass (4794 m ü. M., 80 km südwestlich von Lhasa) über den Yamdroksee (4482 m ü. M.) zur Himalajakette nördlich von Bhutan



Kraftvoller und prächtiger Gletscher – Der Spegazzinigletscher am Argentinosee bei einer föhnigen Aufhellung (patagonische Anden, 50° 20' S) am 24. November 1995



*Sonnenbeschienene Eisberge und Treibeis
Der Upsalagletscher mündet in den Argentinosee*



*Ein jährlich noch wachsender Gletscher
Der Morenogletscher, der mit seinem 60 Meter hohen Frontgebiet in den Argentinosee stösst*



Der Gletscher in der Einsamkeit – Bei der erstmaligen Umrundung von Spitzbergen mit einem Passagierschiff: Der Monacogletscher im Liefdefjord ($79^{\circ} 30'N$) am 23. August 1996



*Stimmungsbild im Norden von Spitzbergen
Im stillen Lomfjord am 24. August 1996 ($75^{\circ} 34'N$). Fahrt zu einem Eisbären vorbei zur Hinlopenstrasse.*



Tief und neu verschneiter Gletscher

Das Allalinhorn (4026 m ü. M.) mit dem Allalingletscher am 22. April 1968



Gletscher der Mischabelgruppe – Ulrichshorn (3925 m ü. M.) mit Grat zum Nadelhorn (4327 m ü. M.) und Dom (4545 m ü. M.) mit Riedgletscher am 29. Mai 1997

10. Klimaänderungen und Naturkatastrophen

Dieses klimatologisch und politisch aktuelle Thema war das zentrale Anliegen des «Nationalen Forschungsprogrammes NFP 31». Die Schlussstagung über diese weitläufigen Problemkreise, die von nationalem und internationalem Interesse sind, fand am 11. März 1998 in Bern statt, mit der Präsentation von zahlreichen Forschungsberichten und Büchern.

Die Klimaszenarien weisen darauf hin, dass wir den Rahmen der Klimaschwankungen der letzten Jahrtausende verlassen könnten, mit schwerwiegenden Folgen für viele Regionen auf unserer Erde, die man bei politischen Entscheiden schon heute zur Kenntnis nehmen sollte. Zusammenfassend sei dargelegt, was ein weiterer Anstieg der Erdmitteltemperatur von 2 Grad im 21. Jahrhundert bewirken könnte:

- Der Temperaturanstieg ist in mittleren und höheren Breiten grösser als in den tropischen Regionen und im Winter stärker als im Sommer.
- Die produktiven landwirtschaftlichen Zonen verschieben sich nordwärts, wobei die Anpassungsschwierigkeiten an die veränderten Klimabedingungen für Pflanzen, Tiere und Menschen zunehmen.
- Einige ökologische Systeme werden kaum wandern können, so dass in ihrem Umfeld eine für sie unwirtliche Klimazone entstehen würde.
- Auf das Gefahrenpotential, das bei einem weiteren Abschmelzen der Gletscher, des Ansteigens der Schneegrenze und einem Auftauen der Permafrostböden bis in grössere Höhen entsteht, wurde bereits hingewiesen.
- In subtropischen Regionen und auch im Innern der Kontinente wird sich eine Häufung von Trocken- und Dürreperioden einstellen, während andere Gebiete von grossen Überschwemmungen heimgesucht werden.
- Das Aussterben der verschiedenen Arten von Pflanzen und Tieren beschleunigt sich.
- Der Meeresspiegel ist in diesem Jahrhundert bereits um 10 bis 15 cm angestiegen. Durch das Abschmelzen der Gletscher und eine thermische Ausdehnung der Wassermassen kann ein weiterer Anstieg von 30 bis 40 cm erfolgen, verbunden mit einer verhängnisvollen Unbewohnbarkeit von einzelnen Inselstaaten und zahlreichen Küstenregionen, mit einer Existenzbedrohung für mehr als 100 Millionen Menschen.
- Steigende Flüchtlingsströme und eine weitere Zunahme der Erdbevölkerung werden schwer zu bewältigende Probleme bringen.
- Eine Klimaveränderung hat auch Einfluss auf den globalen und lebenswichtigen Wasserkreislauf. Viele

Länder werden mit der zunehmenden Bevölkerungszahl von einem Wassermangel bedroht, verursacht durch eine Verschmutzung der Gewässer und eine ungleiche Verteilung der Wasserreserven.

- Mit einem weiteren Anstieg der Meerestemperaturen auf über 27 Grad nehmen die gewaltigen und verheerenden Wirbelstürme – Taifun, Hurrican, Tornado – in bedrohlicher Weise zu.
- El-Niño-Ereignisse, wie sie im Winter 1997/98 in verstärktem Mass aufgetreten sind, können sich in ähnlicher Weise auch in anderen Regionen einstellen, mit einer Häufung von Wetteranomalien.
- Mit einer Überbauung von Risikogebieten und ungenügenden Schutzmassnahmen nehmen die Kosten zur Behebung der Schäden von Naturkatastrophen in ausserordentlicher Weise zu, was in den letzten Jahren vor allem an den gewaltigen Sturmschäden in den USA zu erkennen war. In der Schweiz verursachte das grosse Unwetterjahr 1987 Schäden im Ausmass von 1,3 Milliarden Franken. Man schätzt, dass die Schadenssumme in unserem Land bis zum Jahr 2050 im Mittel auf jährlich 3 Milliarden Franken ansteigen könnte.
- Das Jahr 1998 wird als Jahr mit den schlimmsten Naturkatastrophen in die Geschichte eingehen. In den ersten 11 Monaten sind weltweit Schäden von 125 Milliarden Franken eingetreten, wobei über 50 000 Menschen das Leben einbüssten. Als grösste Unwetterkatastrophen des Jahres 1998 sind zu erwähnen die gewaltigen Überschwemmungen des Jangtse-Flusses in China und die Auswirkungen des Wirbelsturmes «Mitch» in der Karibik und in den Ländern Honduras, Nicaragua, Guatemala und El Salvador.
- Das turbulente Wettergeschehen, das mit einer Klimaänderung verbunden ist, kann auch zu einer Veränderung der Hauptwindrichtungen und der Meeresströmungen führen, wobei sich einzelne Regionen klimatologisch grundlegend verändern können.

Beim Zerfall von früheren Kulturen haben Umweltprobleme, mit einer Missachtung ökologischer Erfordernisse, beigetragen zum Niedergang, wie dies Archäologen bei der Maya-Kultur in Mexiko und Mittelamerika festgestellt haben.

Unsere Generation darf die drohenden Gefahren nicht verharmlosen. Es sind viele gute Ansätze vorhanden, um mit einem Ausbau der Umwelttechnik, sowie energie- und schadstoffsparenden Produktionsverfahren, unsere Umwelt einer geringeren Belastung auszusetzen. Das Verursacherprinzip muss in die Kostengestaltung der Energieträger einbezogen werden, um der dominierenden Rolle der fossilen Brennstoffe Einhalt zu gebieten und den erneuerbaren und schadstoffarmen Energieformen eine grössere Chance zu geben. Unsere Generation trägt die Verantwortung für die zukünftigen Lebensbedingungen auf unserem Planeten, die das Schicksal unserer Nachkommen massgebend mitbestimmen.

11. Literatur

1. «Wir Klimamacher», von Hartmut Grassl, Verlag Fischer, Frankfurt, 1990.
2. «Klima im Wandel», von Christian Schönwiese, Verlag Rowohlt, Hamburg, 1994.
3. «Das 1950er Syndrom», von Christian Pfister, Verlag Haupt Bern, 1994.
4. «Die globale Erwärmung und die Schweiz», Buwal, Bern, 1994.
5. «Lebendiges Gletschervorfeld – Morteratschgletscher», von M. Maisch, C. Burga, P. Fitze, Geogr. Inst. Uni Zürich, 1993.
6. «Der Götterplan», Aufstieg und Fall der Maya von P. Fiebag, Verlag Langen-Müller, München, 1995.
7. «Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen von 1900 bis 2010» Buval, Bern, 1996.
8. «Klima», Umweltstatistik Schweiz Nr. 7, Bern, 1997.
9. «Klima in Gefahr», Buwal, Bern, 1997.
10. «Globale Erwärmung» von J. Houghten, Springer-Verlag, 1997.
11. «Luftverschmutzung und Klimawandel» von K. Frey, Selbstverlag, Olten, 1996.
12. «Gletscherwandel als globales Fieberthermometer» von W. Haeberli, Natw. Rdsch., Heft 8/1997, Stuttgart.
13. «Klimaänderungen und Naturkatastrophen», zahlreiche Publikationen vom «Nationalen Forschungsprogramm NPF 31», 1998
14. «Wetternachhersage», 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen von Christian Pfister. Verlag Paul Haupt, Bern, 1999.



Oltner Eiszeit

Die Aare ist am 24. Januar 1963 bis zur Gäubahnbrücke hinauf zugefroren.

