

Abbaubarkeit und die Unschädlichkeit der entstehenden Umbauprodukte.

Erforderlich sind auch mehr Methoden zur einfachen und raschen Früherkennung der Vergiftungen mit Fremdstoffen.

Ein vollständiges Wirkungsprofil bzw. ein endgültiges Bewertungsbild kann nicht in kurzer Zeit erstellt werden. Unter den Wirkungen fehlen besonders Kenntnisse über die Beeinflussung des psychischen Verhaltens, Neurotoxizität, Störungen der Kreislauffunktionen, Schädigung der Nachkommenschaft, Änderung der Erbeigenschaften und Krebszeugung. Dabei handelt es sich um sehr komplizierte und vor allem äußerst langwierige Untersuchungen. Deshalb muß unter den Fremdstoffen eine Auswahl getroffen werden.

Wo eine Reduktion der Abgabe schädlicher Stoffe möglich ist, Gebrauchskemikalien entbehrt oder durch weniger schädliche ersetzt werden können, sollte dies durch restriktive gesetzliche Maßnahmen erreicht werden.

Das toxikologische Interesse muß sich auf die Stoffe konzentrieren können, die unvermeidlich in bestimmten Mengen in unserer Umwelt vorhanden sind oder nach ihrer Nutzung dort verbleiben:

- ▷ Notwendige Gebrauchskemikalien, die in großen Mengen produziert werden, weite Anwendungsgebiete besitzen, große Verteilungstendenz erwarten lassen, hohe Beständigkeit haben oder unter Umweltbedingungen zu schädlichen Produkten umgewandelt werden (z. B. Pestizide, bestimmte technische Hilfsmittel, wie Lösungsvermittler, Weichmacher, Treibgase usw.).
- ▷ Verbrennungsprodukte bzw. andere Abfallstoffe der Energieerzeugung, die nicht vollständig vermieden werden können (Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, bestimmte Radionuklide).
- ▷ In der Natur vorkommende Stoffe, die Luft, Wasser und Nahrungsmittel verunreinigen können (z. B. bestimmte Pflanzenstoffe oder toxische Produkte von Mikroorganismen, natürliche Kanzerogene, Quecksilber und einige andere Metalle).
- ▷ Stoffe, die beim Behandeln von Materialien entstehen (z. B. bei der Herstellung oder Konservierung von Lebensmitteln, bei der Bestrahlung von Abwasser usw.).

Für dringend notwendige gesetzliche Maßnahmen müssen auf Grund der vorhandenen Kenntnisse vorläufige Bewertungen durchgeführt werden, die mit dem Fortschreiten der Erkenntnis jeweils zu korrigieren sind. Eine endgültige Bewertung der toxikologischen Umweltsituation ist erst möglich, wenn gleichwertige Daten aller Fremdstoffe vorliegen sowie entsprechendes Material auch von anderen Einflüssen der Umwelt (z. B. Wetter, Lärm, Ernährung, bestimmten Arbeits- und Lebensbedingungen), um die Bedeutung jeder einzelnen Belastung im Rahmen der Gesamtbelastung abschätzen und gegeneinander abwägen zu können. 

Herman Flohn, Klaus Fraedrich

# Eingriffe in das Klima

**K**lima ist das zeitliche Integral über das Wetter, wobei der Integrationszeitraum mindestens 10 Jahre betragen sollte. Klimaschwankungen umfassen ein Spektrum von 10 bis zu hundert Millionen Jahren; sie sind seit 1680 dokumentiert durch instrumentelle Beobachtungsreihen, durch zuverlässige indirekte Klimadaten während der letzten 20 000 Jahre und durch Informationen aus der geologischen Geschichte seit Beginn des höher organisierten Lebens auf der Erde vor 550 Millionen Jahren.

Klimafluktuationen lassen sich entsprechend der räumlichen Ausdehnung ihres Einflusses in globale und regionale (bzw. lokale) Klimaschwankungen einteilen. Die Schwankungsbreite unseres Klimas auf hemisphärischer (globaler) Skala wird durch die Tatsachen deutlich, daß es in der einen, letzten Million Jahre mindestens viermal zum Aufbau von Eisdome in Nordamerika und Europa kam, während in 90 Prozent der näher bekannten geologischen Geschichte beide Pole eisfrei waren.

Auf regionaler Skala erlebten die Präriestaaten der USA in den Jahren 1930–36, Nordostbrasilien in den 50er Jahren eine erhebliche Dürreperiode, und z. Z. erscheint der ständige Rückgang der Vegetationsbedeckung und der Grundwasservorräte, vor allem in der Sahara, besorgniserregend. Gerade in kritischen Grenzgebieten (Polarregion, Hochgebirge, Übergang von humiden zu ariden Klimaten) sind die biologischen und ökonomischen Auswirkungen von Klimaveränderungen außerordentlich groß.

Dabei wird die Frage nach den Ursachen der Klimaschwankungen erst seit kurzer Zeit gestellt, und zwar seit begründeter Verdacht einer Mitwirkung des Menschen besteht. Aussagen über eine anthropogene Klimabeeinflussung sind zumindest für die globale Skala qualitativ, wenn nicht gar spekulativ. Denn das Ausmaß der natürlichen und anthropogenen Klimaänderungen kann bisher nur abgeschätzt werden, weil das bei diesen Untersuchungen betrachtete System Erde + Atmosphäre + Hydrosphäre komplizierten und noch weitgehend unbekanntem Wechselwirkungen unterliegt.

Eingriffe in das Klima sind dem Menschen durch Veränderungen der Luftzusammensetzung und der physikalischen Beschaffenheit der Erdoberfläche möglich.

Der  $CO_2$ -Gehalt der Atmosphäre hat zu Beginn der weltweiten Industrialisierung (um 1900) global von 290 ppm auf jetzt 322 ppm zugenommen (Wachstumsrate ungefähr 0,7 ppm/Jahr). In Großstädten steigt dieser Wert regional auf 350 ppm. Etwa 50 Prozent der  $CO_2$ -Produktion wird vom Ozean und von der Biosphäre aufgenommen, und nur der Rest verbleibt in der Atmosphäre.

Ob dieses Verhältnis erhalten bleibt, ist unbekannt. Die Wirkung auf die Atmosphäre besteht in einer Erwärmung durch Absorption langwelliger Ausstrahlung. Auf Grund einer Modellrechnung (Manabe 1967) zeigt sich, daß bei gleichbleibender Feuchte — die Absorptionsbanden von  $H_2O$  und  $CO_2$  überlappen sich — aus einer Verdoppelung des  $CO_2$ -Gehaltes eine Zunahme der Erdoberflächentemperatur um  $2,2^\circ$  erfolgt.

---

## Aerosole aus der Savanne

---

Die in der Luft enthaltenen *Aerosolpartikel* werden von Quellen in den Industriegebieten emittiert und von den Trockenregionen, in denen der Mensch jährlich die Savanne abbrennt. Hier werden flächenhaft die gleichen Trübungswerte wie in den schlimmsten Industrieregionen gemessen. Aerosole beeinflussen die Streuung und Absorption der Strahlung, und zwar in Abhängigkeit von der Partikelgröße:

- ▷ große Partikel (Durchmesser 2–20  $\mu m$ ) wirken nur in der Nähe der Trübungsquellen, da sie rasch ausfallen. Sie erhöhen die langwellige Gegenstrahlung der unteren Troposphäre und damit die Temperatur, was sich vor allem in den Nachtstunden bemerkbar macht;
- ▷ kleine Partikel (Durchmesser 0,1–2  $\mu m$ ) verweilen länger in der Atmosphäre (Bodennähe: 2–4 Tage, mittlere Troposphäre: 10–30 Tage, untere Stratosphäre: 1–2 Jahre), so daß sie weit transportiert werden können.

Die Wechselwirkung mit der kurzwelligen Sonnenstrahlung führt durch Rückstreuung zur Verringerung des Strahlungsgenusses der Erdoberfläche und zu einer Erwärmung der Partikel durch Absorption; d. h. in Abhängigkeit von der Reflektivität der Erdoberfläche und dem Absorptionsvermögen der Partikel kann

auf der Erdoberfläche Erwärmung bzw. Abkühlung eintreten.

Änderungen der Luftzusammensetzung stehen nicht nur in Wechselwirkung mit den atmosphärischen Strahlungsvorgängen, sondern können auch durch Änderung der Population der Kondensationskerne Wolken- und Nebelbildung beeinflussen.

Von der Gesamtfläche der Kontinente sind mindestens 30 Prozent durch *Umwandlung der natürlichen Vegetation* in „Kultur“-Landschaft betroffen, die seit 8 Jahrtausenden vor sich geht. Den noch verbleibenden tropischen Regenwäldern (Amazonas-Region) steht ähnliches mit möglicherweise irreversiblen Konsequenzen bevor. Daß sich z. B. heute die Sahara um 1 km/Jahr nach beiden Seiten ausdehnt, ist nicht Folge einer Klimaänderung, sondern der Zerstörung der Vegetation durch weidendes Vieh; die übermäßige Nutzung natürlicher Reserven (fossiles Grundwasser aus der Eiszeit) kann nur zu deren frühzeitiger Erschöpfung führen. Durch solche Eingriffe werden zahlreiche physikalische Klimaparameter an der Erdoberfläche (Albedo, Rauigkeit, fühlbarer Wärmestrom und Verdunstung) modifiziert, wobei die atmosphärische Energiezufuhr in Form von Wasser und Wärme im Vordergrund stehen.

Die Manipulation des *hydrologischen Zyklus* scheint sich bereits jetzt auszuwirken: eine Neuberechnung des Wasserhaushalts der BRD zeigt (Keller 1970) eine Zunahme der Niederschläge um 3 Prozent und einen Rückgang des Abflusses um 12 Prozent, was einer Verdunstungszu-

nahme um 15 Prozent entspricht. Im Ruhrgebiet muß man die Differenz zwischen Wasserverbrauch und Abwassermenge der Industrie als zusätzliche Verdunstung interpretieren: mit 14 cm/Jahr entspricht das etwa 30 Prozent der natürlichen Verdunstung, hauptsächlich durch die großen Kühltürme.

Die Zunahme der künstlichen Bewässerung (z. B. auch durch Anpflanzung neuer, auf höheren Ertrag gezüchteter Getreidesorten mit einem höheren Wasserverbrauch) und der Anstieg des Wasserverbrauchs in Industrie und Haushalt läßt das Wasserproblem noch vor dem Energieproblem als Folge des Bevölkerungswachstums als Thema Nr. 1 erscheinen. Klimatisch können Veränderungen bzw. eine Beschleunigung des hydrologischen Zyklus unter humiden Bedingungen über eine Zunahme des Wasserdampfgehaltes zu einer geringen Niederschlagserrhöhung führen, nicht jedoch unter ariden Bedingungen.

Die *künstliche Energiezufuhr* stellt z. Z. global-gemittelt einen völlig unbedeutenden Anteil im Vergleich zur natürlichen Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche (ungefähr 100 Watt/m<sup>2</sup>) dar. In Großstädten jedoch steigt der Strom zusätzlicher Energie auf über 10 Watt/m<sup>2</sup> an. So z. B. macht im Ruhrgebiet die künstliche Energiezufuhr 20–25 Prozent der Nettostrahlung aus und verteilt sich auf eine Fläche von etwa 10 000 km<sup>2</sup>. Dabei bilden Großstädte und Industriezentren lokale Wärme- und Wasserdampfquellen. Das führt zu einer zusätzlichen und dauernden Labilisierungstendenz in der Atmosphäre, was

mit einer (statistisch nachweisbaren) Zunahme der lokalen sommerlichen Starkregen gekoppelt ist. Da dieser Anteil aber jetzt in absehbarer Zukunft exponentiell anwächst (z. Z. in 5–6 Prozent pro Jahr), erreicht er nach vielleicht 60 Jahren das gleiche Niveau, wie die mit den natürlichen Klimaänderungen gekoppelten Energieschwankungen.

Die hier erwähnten anthropogenen Eingriffe (auf die Luftzusammensetzung und die physikalischen Bedingungen an der Erdoberfläche) führen überwiegend zu einer regionalen Erwärmung und kombinieren sich mit den natürlichen Ursachen der Klimaschwankungen. Diese Erwärmung konzentriert sich im atlantischen Sektor, wo in den letzten 1200 Jahren (Wikinger-Fahrten!) die größten räumlichen Schwankungen des arktischen Meereises aufgetreten sind.

Nach den meisten neueren Untersuchungen kann sich dieses Meereis zwar unter den jetzigen Klimabedingungen erhalten, aber nicht neu bilden, so daß eine kontinuierliche Lufterwärmung eine völlige Umgestaltung mit einem offenen arktischen Ozean hervorrufen müßte. Die Folge wäre eine globale Verlagerung der Klimazonen um einige 100 km polwärts, die sich vor allem auf den Gürtel der subtropischen Winterregen (Mittelmeerländer, Kalifornien) auswirkt, der dann in die aride Steppenzone rücken würde.

Aus der Sicht der *theoretischen Klimatologie* stellen diese menschlichen Eingriffe Änderungen der inneren und äußeren Randbedingungen der mathematisch-physikalischen Klimamodelle dar. Bei den Modellen selbst ergeben sich dabei folgende Probleme:

- ▷ die hinreichend genaue Formulierung der komplizierten Wechselwirkungen zwischen den atmosphärischen, ozeanischen, glazialen Prozessen untereinander sowie der verschiedenen Skalen innerhalb eines einzelnen Systems (z. B. synoptische Störung und Wolken, lokale Wärme- und Verschmutzungsquelle und Umgebung, groß- und kleinskalige Wellenvorgänge);
- ▷ die Frage nach der eindeutigen Existenz und dem Realismus solcher Modellösungen, die immer nur auf vereinfachten und damit häufig unrealistischen Annahmen beruhen können sowie der Determiniertheit der atmosphärischen Prozesse mit ihren mehrfachen Instabilitäten.

Eine geophysikalische Klimaforschung umfaßt also die datenmäßige Erfassung der klimatologischen Vorgänge, ihre Genese und ihren Ablauf sowie die Entwicklung von Klimamodellen lokaler, regionaler und globaler Skala, womit das „Experiment“ (mit seinen möglicherweise irreversiblen Konsequenzen) von der Natur auf den Rechner verlegt wird. Sie wird besonders die Frage der Instabilität unseres Klimas prüfen müssen, die einige Modellrechnungen ebenso ergeben wie neueste Befunde aus der Klimageschichte.



**Manipulation** des hydrologischen Zyklus: Zusätzliche Verdunstung durch große Kühltürme.

Photo: Zündorf