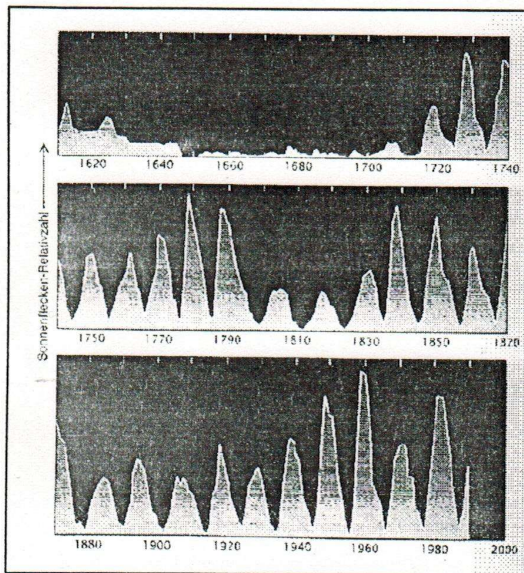


auf der Erde nur deshalb möglich geblieben, weil gleichzeitig das Treibhauspotential der Spurengase in der Atmosphäre ebenso stetig und langsam abgenommen hat.

(3) Erst seit etwa 20 Jahren wird heute mit einem Satelliten im äußeren Bereich der Erdatmosphäre die auf die Erde treffende solare Strahlungsleistung über alle Frequenzbereiche des elektromagnetischen Spektrums pro Quadratmeter genau vermessen. Diese als Solarkonstante bezeichnete Größe blieb über diesen Zeitraum tatsächlich sehr konstant bei etwa 1.37 kWatt/sek. Beobachtete kleine Schwankungen lagen im Bereich von bis zu $\pm 0.2\%$. Globale Temperaturänderungen auf der Erdoberfläche um mehr als 0.1 bis 0.2 % und damit auch wesentliche Klimaänderungen könnten dadurch aber nicht verursacht werden. Niemand kann jedoch bei der geringen Dauer der Beobachtungszeit darauf schließen, daß die Sonnenleuchtkraft in der Vergangenheit nicht doch viel stärker, plötzlich oder immer wieder periodisch in ihrer ausgestrahlten Leistung geschwankt hat, Klimaänderungen in Zukunft nicht doch auch natürlich durch merkliche solare Leuchtkraftveränderungen verursacht werden können.



(4) Die beobachteten Schwankungen der Sonnenleuchtkraft ließen sich allein schon durch das mehr oder weniger periodische Auftreten von sogenannten Sonnenflecken auf der Sonnenoberfläche plausibel machen. Diese bis zu mehreren Erddurchmessern großen Gebiete erscheinen dunkler, weil sie um bis zu 2000 °C kühler als ihre helle Umgebung sind und von hier aus weniger Energie abgestrahlt wird. An diesen Stellen treten magnetische Flußröhren durch die Sonnenoberfläche und behindern den konvektiven Materieströmungstransport und damit auch den Aufstieg heißerer Materie aus tieferen Schichten der Sonne. In der Umgebung von Fleckengruppen erscheinen gehäuft sogenannte Fackelgebiete, Ansammlungen heller Lichtpunkte, in denen zumindest ein Teil der unter dem Fleck gestauten Energie immer wieder

abgeführt wird. Die Häufigkeit und Größe der Sonnenflecken, noch deutlicher die Gesamtmenge des durch die Sonnenoberfläche aufsteigenden magnetischen Flusses, schwankt dabei periodisch mit einem etwa 11-jährigen sogenannten solaren Aktivitätszyklus. In Zeiten der aktiven Sonne mit hoher Sonnenfleckenrelativzahl müßte man so eigentlich annehmen, daß die Ausstrahlung der Sonne eher etwas geringer wird. Tatsächlich nimmt die Leuchtkraft kurzfristig auch ab, wenn neue Flecken entstehen oder schon ältere Flecken auf Grund der Sonnenrotation wieder ins Blickfeld des Beobachters gelangen. Aber mit einer Verzögerung von größenordnungsmäßig etwa 50 Tagen steigt die Leuchtkraft anschließend stärker wieder an.

(5) Insgesamt beobachtet man in Zeiten hoher Sonnenaktivität mit komplexen, hochenergetischen und teilweise eruptiven Vorgängen in den weiter außen gelegenen chromosphärischen und koronalen Schichten der Sonnenatmosphäre tatsächlich eine Erhöhung der solaren Gesamtstrahlung. Möglicherweise sind es die dann vermehrt aufsteigenden starken magnetischen Flußröhren, die die beobachtete geringe Vergrößerung des Sonnenradiuses und wegen der quadratischen Abhängigkeit auch die der Oberfläche bewirkt. Insgesamt kann so mehr Energie abgestrahlt werden, die Sonnenleuchtkraft steigt an.

(6) Während der beobachtete Anstieg der Gesamtausstrahlung der Sonne in Zeiten hoher Sonnenaktivität insgesamt doch recht gering ist, kann die Strahlungsleistung in einzelnen Frequenzbereichen doch erheblich zunehmen. So steigt die Röntgen- oder UV-Strahlung unter Umständen vorübergehend auf das bis zu Zehnfache ihres normalen Wertes an. Neben dieser verstärkten elektromagnetischen Strahlung sind es auch der zunehmende Sonnenwind und von

der Korona ausgestoßene Plasmawolken mit hochenergetischen geladenen Teilchen, die auf die äußeren Schichten der Erdatmosphäre treffen. Die Temperatur in der Thermosphäre kann auf das Dreifache ansteigen, die Erdatmosphäre dehnt sich dabei aus. Die Dichte und der Ionsationsgrad in der Ionosphäre nehmen deutlich zu. Zeitlich verzögert werden auch die angrenzende Mesosphäre und die noch tiefer liegende Stratosphäre von diesen Prozessen beeinflusst. Die Ozonschutzschicht der Atmosphäre wird bei zunehmender UV-Strahlung im Allgemeinen verstärkt, energetische Teilchen können sie andererseits auch abbauen. Deutlich beobachtet werden Schwingungen der Erdatmosphäre im Rythmus der Sonnenaktivität. So modulieren Vorgänge in der Sonnenkorona beispielsweise stratosphärische Westwinde am Äquator. Auswirkungen auf das Wetter in der darunterliegenden Troposphäre erscheinen so nicht abwegig. (7) Über Jahrhunderte hinweg wurde der Verlauf der Sonnenaktivität recht genau studiert, nach möglichen Folgen für das Erdklima gesucht. Während sich dabei immer wieder die etwa 11-jährige Periodizität der Sonnenfleckenzahl zeigte, fand man mit dem Zeitraum von 1640 und 1715 eine Periode, in der kaum Sonnenflecken auftraten. Man spricht in diesem Zusammenhang heute vom sogenannten Maunder Minimum. Überraschenderweise fällt dieser Zeitraum recht gut mit der sogenannten Kleinen Eiszeit zusammen, einer Periode im Mittelalter, in der es auf der Erde deutlich um etwa 1 bis 2°C kühler als heute war. Auch andere Zeiträume geringer Fleckenrelativzahl wie das Wolf Minimum (um 1300), das Spörer Minimum (1400-1500) und um 1800 korrespondieren ebenfalls mit kälteren Perioden des Klimas auf der Erde. Neben dem 11-jährigen Sonnenaktivitätszyklus unterliegt die Sonnenfleckenzahl auch noch Schwankungen mit längeren Perioden. Der sogenannte Gleisberg-Zyklus mit einer Periode von etwa 88 Jahren korrespondiert dabei offensichtlich ebenfalls recht gut mit entsprechenden Klimaschwankungen auf der Erde.

(8) Genaue Messungen der Solarkonstante zeigen, daß die Leuchtkraftschwankungen der Sonne nicht in Phase mit den magnetischen Sonnenzyklusoszillationen erfolgen, sondern um mehrere Jahre verzögert auftreten. Während beim Aufstieg kleinerer magnetischer Flußröhren im Zusammenhang mit Sonnenflecken eine Leuchtkraftverstärkung um etwa 50 Tage verspätet einsetzt, dauert es im Fall der globalen, mit dem Sonnenzyklus korrelierten magnetischen Flußdichtenschwankungen mit etwa 10 Jahren deutlich länger. Die im tieferen Innern, am Boden der Konvektionszone induzierten Magnetfeldstrukturen brauchen offensichtlich so viel mehr Zeit, um die die Sonnenausstrahlung bestimmenden Konvektionsströmungsstrukturen merklich zu beeinflussen, ihnen eine neue Struktur aufzuprägen. Man spricht in diesem Zusammenhang von magneto-thermischen Oszillationen der Sonne.

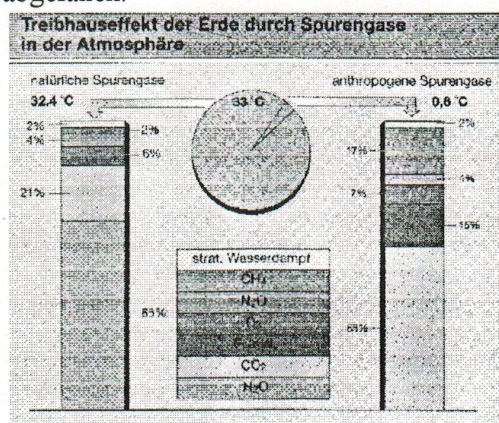
(9) Durchschnittlich beträgt die Länge eines solaren Fleckenzykusses etwa 11 Jahre, dennoch kann sie bei einzelnen Sonnenzyklen erheblich, unter Umständen mehrere Jahre von diesem Mittelwert abweichen. Neuere Untersuchungen lassen einen sehr überraschenden Zusammenhang zwischen Klimaelementen auf der Nordhalbkugel und der jeweiligen Länge des Sonnenzyklus vermuten. Je kürzer danach eine Aktivitätsperiode ist, umso höher ist offensichtlich die typische Durchschnittstemperatur auf der Erdoberfläche der Nordhalbkugel. Erst wenn signifikant gesichert wäre, daß eine kürzere Zykluslänge stets mit dem Aufbau stärkerer globaler magnetischer Flußdichtenkonzentrationen, dann auch mit stärkerer Sonnenaktivität und daraus resultierend mit größerer Leuchtkraft assoziiert wäre, ergäbe sich für die aufgestellte Vermutung über den Zusammenhang von Klima und Zykluslänge eine plausible Erklärung.

7. Zur Treibhauseffektproblematik

(1) Unter dem Treibhauseffekt versteht man ein Prinzip der Energieabsorption in einer Gas-Staub-Atmosphäre. Im Treibhaus einer Gärtnerei dringt relativ langwelliges Licht aus dem sichtbaren Spektralbereich relativ ungehindert durch ein Glasdach ein. Auf den Pflanzen ermöglicht die Photosynthese unter Freisetzung von molekularem Sauerstoff und Anwesenheit von Wasser den Einbau des Kohlenstoffatoms aus dem Kohlendioxid CO₂ der Luft und damit auch das Wachstum der Pflanzenstrukturen. In verschiedenartigen Prozessen innerhalb des

Treibhauses freiwerdende oder reflektierte langwelligere Strahlung wird von Gasmolekülen wie Wasser und Kohlendioxid absorbiert, kann das Glasdach nach außen nur zu einem geringen Prozentsatz wieder verlassen. Im Treibhaus stellt sich so eine höhere Temperatur ein, die das Pflanzenwachstum begünstigt. In ähnlicher Weise wirkt auch die Erdatmosphäre wie ein Treibhaus. Eingestrahelte und von den Gasmolekülen nicht absorbierte oder reflektierte relativ kurzwellige Strahlung wird zum Einen von der Erdoberfläche absorbiert und zum Teil wieder als langwelligere (Wärme-)Strahlung reemittiert. Zum Andern hält sie auch hier in der Biosphäre die Photosynthese in Gang und unterstützt in Stoffwechselprozessen die weitere Entwicklung des Lebens auf der Erde. Da die reemittierte oder reflektierte langwellige Strahlung jetzt von den Treibhausgasen absorbiert werden kann, stellt sich in der Erdatmosphäre eine Temperatur ein, die allein durch den natürlichen Treibhauseffekt um etwa 31°C höher liegt als auf der Erdoberfläche ohne die sie umgebende Atmosphäre.

(2) Vor etwa 3.8 Milliarden Jahren lag die Erde noch unter einer drückenden Treibhausglocke. Bei Temperaturen von etwa 50°C und sintflutartigen Regenfällen bestand die Erdatmosphäre damals noch zu etwa 30% aus Kohlendioxid. Im Laufe vieler Jahrmillionen verringerte sich danach die Konzentration dieses Treibhausgases langsam aber kontinuierlich, weil sich unter einer schützenden Ozonschicht Leben zu entwickeln begann, Photosynthese einsetzte und sich unter Freisetzung von Sauerstoff erste Pflanzenstrukturen bildeten. Langsam wuchs das Verhältnis von Sauerstoff zu Kohlendioxid an, wurde dabei stets von der Entstehung neuer Lebensformen begleitet. Nachdem die Sauerstoffkonzentration auf über 2% angestiegen war, entstanden relativ schnell, zunächst in den Meeren, verschiedenste, auch höhere Tierarten, die die Blaualgen und und niederen Tierarten mehr und mehr verdrängten. Die Lebewesen hatten zunächst Schwierigkeiten mit der Anpassung an die sich ändernde Luftzusammensetzung, vor allem mit der Zunahme des sehr reaktionsfreudigen Sauerstoffs. Nach dem Ausleseprinzip blieben in diesem evolutionären Wettkampf die Lebewesen mit höherer Körpertemperatur, individueller Temperaturregulierung, höherer Stoffwechselgeschwindigkeit und lebhafterer Gehirnfunktion Sieger. So entstand schließlich auch der Mensch. Im Laufe dieses langen Entwicklungsprozesses war der prozentuale Anstieg des Kohlendioxids schließlich auf unter 0.03% abgefallen.



(3) Seit Beginn des Industriezeitalters ist der Mensch jetzt dabei, mit ungeheurer großer Geschwindigkeit die vorher langsame Reduzierung des Kohlendioxidgehaltes der Luft wieder rückgängig zu machen. Die befürchtete Verdopplung dieser Konzentration vielleicht schon in der Mitte des nächsten Jahrhunderts würde in diesem Sinne einen Rückschritt in der Entwicklung von mehr als etwa hunderttausend Jahren bedeuten! Zu den Treibhausgasen zählen neben dem Kohlendioxid, dem Wassergas, dem Ozon aber auch die häufig vom Menschen produzierten Spurengase wie die Fluorchlorkohlenwasserstoffe, das Methan (CH₄)

oder das Lachgas (N₂O). Manche Treibhausgase wie das Kohlendioxid haben dabei eine hohen Volumenanteil, andere wie zum Beispiel die FCKWs einen sehr hohen Wirkungsgrad. Die vom Menschen verursachten anthropogenen Anteile am Treibhauseffekt sind beim CO₂ besonders hoch. Die Konzentration dieses Gases hat sich in den letzten hundert Jahren um 25% von 0.028% auf 0.035% der Luftzusammensetzung erhöht und steigt weiter unbehindert an. Verursacht wird die Erhöhung des Treibhauseffektes vor allem durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe in der Industrie, im Verkehr oder bei der Heizung von Wohnungen, bei Brandrodungen, Verdauungsprozessen in der Tierhaltung, Zersetzungsprozessen in Sümpfen und Reisfeldern, bei der Freisetzung von Kühlmitteln sowie bei der Aufschäumung von Kunststoffen.

(4) Die CO_2 -Konzentration steigt also kontinuierlich an. Sie schwankt dabei systematisch und periodisch im Laufe eines Jahres. Beim Einsetzen des Pflanzenwachstums insbesondere auch der Algen im Frühjahr fällt diese Konzentration stark ab, weil die Pflanzen in dieser Zeit durch Aufnahme von CO_2 Kohlenhydrate aufbauen. Wenn die Weltmeere im Hochsommer warm geworden sind, verdampfen sie größere Mengen des im Wasser gelösten Kohlendioxids. Der CO_2 -Gehalt der Atmosphäre steigt jetzt wieder steil an und erreicht nach dem Beginn der Heizperiode im Winter sein Maximum. Der Zusammenhang zwischen Treibhausgaskonzentrationsanstieg und Temperaturanstieg ist gesichert. Genaue Kurzzeitstudien bestätigen die sehr klare positive Korrelation zwischen diesen beiden Größen. Höherer CO_2 -Gehalt hat relativ schnell eine höhere Atmosphärentemperatur zur Folge. Die Temperatur nimmt ab, wenn die Treibhausgaskonzentration sinkt. Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die Temperatur in der Erdatmosphäre um mehr als 0.5°C erhöht. Auch die Temperatur des Meeres hat im Mittel deutlich zugenommen. Verschiedenste Modellrechnungen sagen für das Jahr 2050 eine weitere Aufheizung der Erdatmosphäre und einen Temperaturanstieg von im Mittel bis zu 3°C voraus.

(5) Folgen eines solchen globalen Temperaturanstiegs werden zum Einen die Erhöhung des Weltmeerespiegels um etwa 0.5 m durch Wärmeausdehnung des Meerwassers und durch Abschmelzung der Polkappen und Gletscher sein. Dies führt unweigerlich überall auf der Welt zu häufigen Überschwemmungen und zu anhaltender Überflutung tiefliegender Landstriche und Inseln. Zum Andern wird die zunehmende Ausbildung extremer Wetterlagen in einigen Bereichen der Welt zu häufigen Stürmen und Unwettern, in anderen Bereichen zu heftigen Dürrekatastrophen und zur Vergrößerung der Wüstenflächen führen. Bei erhöhtem Treibhauseffekt ist eine erhebliche Schädigung der Biosphäre, insbesondere die Abnahme der Wald- und Ackerbauflächen zu erwarten. Erhöhter Treibhauseffekt führt mit Sicherheit auch zu einer stärkeren Verdampfung der Weltmeere. Ob eine daraus resultierende stärkere Wolkenbildung durch das in ihr enthaltene Wassergas und durch Kohlendioxid zu einer weiteren Verschärfung des Treibhauseffektes oder aber die Tatsache der Wolkenbildung zu einer Verringerung der Sonneneinstrahlung und damit insgesamt zu einer den Treibhauseffekt moderierenden Abkühlung führt, ist bisher noch weitgehend ungeklärt. Die bei Verstärkung des Treibhauseffektes zu erwartende weltweite Zunahme der Niederschläge könnte in den Polgebieten auch zu verstärktem Schneefall, zur Vergrößerung der Gletscherdicke und so sogar zur Tendenz einer möglichen Abkühlung beitragen.

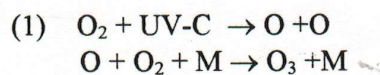
(6) In den Jahren nach Ausbruch des Vulkans Pinatubo ist die mittlere globale Temperatur in der Erdatmosphäre um wenige zehntel Grad gefallen. Die in die Atmosphäre geschleuderten Aerosole haben offensichtlich durch Abschwächung des einfallenden Sonnenlicht zu einer kurzzeitigen Abkühlung geführt. Ein ähnliches Phänomen beobachtet man auch bei der Ausbildung urbaner Mikroklimata in Smoggebieten in der Umgebung großer Städte. Hier ist es offensichtlich auch die große Verunreinigung der Luft, die lokal zu einer Temperaturerniedrigung führt. Toxische Aerosole sind also in der Lage, das wirkliche Ausmaß eines Treibhauseffektes zumindest vorübergehend zu verbergen. Neuere Untersuchungen sprechen aber auch von einer möglichen Verstärkung des Treibhauseffektes durch erhöhte atmosphärische Konzentration mineralischer Aerosole auf Grund vermehrter Bodenerosion. Während Treibhausgase sich dabei eher langsam über längere Zeiträume mehr und mehr anhäufen, schwankt die Konzentration der Aerosole in der Luft unter Umständen sehr schnell. Sie treten plötzlich gehäuft auf, werden unter Umständen schnell wieder abgeregnet.

8. Zur Ozonproblematik

(1) Vorwiegend drei Eigenschaften sind es, die das aus drei Sauerstoffatomen bestehende Ozonmolekül O_3 zu einem für das Leben auf der Erde so wichtigen Spurengas machen. Zum Einen wäre hochentwickeltes Leben ohne eine stratosphärische Ozonschicht auf der Erde undenkbar. Sie schützt uns vor der gefährlichen UV-Strahlung. Zum Andern gehört Ozon auch

zu den Treibhausgasen. Ohne diese Gase wäre die Temperatur auf der Erdoberfläche so niedrig, daß sich Leben in der uns bekannten Form nicht hätte entwickeln können. Wegen zu hoher Treibhausgaskonzentration befürchten wir heute starke Temperaturerhöhungen. Schließlich erfahren wir in letzter Zeit zunehmend auch die für unser Leben so gefährlichen toxischen Eigenschaften dieses Gases. Vor allem anthropogene Einflüsse durch Verkehr, Industrie und bei Verbrennung von Biomasse sind es, die bei starker Sonneneinstrahlung zur Ausbildung troposphärischen Ozons führen. Das reaktionsfreudige Gas greift nicht nur Bauwerke, Pflanzen und Tiere sondern auch unsere Gesundheit merklich an. Zum Glück für den Menschen wirkt das toxische Ozon normalerweise schützend in Bereichen der Erdatmosphäre, in denen wir nicht leben müssen.

(2) Ohne den Einfluß der von der Sonne eingestrahnten UV-Strahlung würden die Sauerstoffmoleküle O_2 nur aus zwei Sauerstoffatomen bestehen. In der Stratosphäre spaltet sehr harte kurzwellige UV-Strahlung (UV-C-Strahlung mit $\lambda < 242 \text{ nm}$) diese normalen Sauerstoffmoleküle in zwei Sauerstoffatome auf.



Unter Vermittlung eines weiteren Partnermoleküls M, das freiwerdende Energie aufnimmt, lagern sich die freigewordenen Sauerstoffatome an ein normales O_2 -Molekül an. Harte UV-Strahlung wird also vor Eintritt in tiefere Atmosphärenschichten unter Ausbildung von Ozon absorbiert. Stickoxide und O_2 -Moleküle in noch größeren Höhen sind es, die uns durch Absorption der Energiequanten vor noch extrem härterer UV- beziehungsweise Röntgenstrahlung schützen.

Während der Prozeß der Ozonbildung am effektivsten in einer Höhe von etwa 35 km oberhalb der eigentlichen Ozonschicht abläuft, führt die Absorption der tiefer in die Atmosphäre eindringenden, für den Menschen ebenfalls gefährlichen UV-B-Strahlung ($242 \text{ nm} < \lambda < 300 \text{ nm}$) in der über eine Breite von etwa 20 km in einer mittleren Höhe von 25 km gelegenen, als Ozonschicht bezeichneten Schale in der Stratosphäre statt. Gemäß



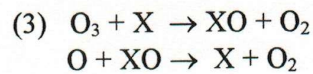
entsteht hier so wieder molekularer Sauerstoff. Die Absorption von UV-Strahlung führt aber normalerweise zu keinem Nettoozonabbau, da sich Bildungs- und Abbaumechanismen zeitlich gemittelt gegenseitig ausgleichen. Unter konstanten Bedingungen bildet sich also ein dynamisches Ozongleichgewicht aus. Die für den Menschen nicht so gefährliche UV-A-Strahlung ($300 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$) kann die Ozonschicht mehr oder weniger ungehindert durchlaufen.

(3) Würde man die gesamte Ozonmolekülschicht unter Einwirkung des auf Meereshöhe anzutreffenden Normaldrucks bei einer Temperatur von 0°C zusammendrücken, so würde die Dicke dieser Schicht normalerweise auf etwa 3 mm zusammenfallen. In der Ozonforschung wird die anzutreffende Ozonmenge jeweils in der Einheit Dobson angegeben. Sie gibt die Dicke dieser gedanklich zusammengedrückten Ozonschale als Vielfaches von 1/100 mm an. Durch erhöhte Sonneneinstrahlung liegt die Ozonmenge in tropischen Breiten üblicherweise über den eigentlich zu erwartenden 300 Dobson, in Polhöhe entsprechend niedriger.

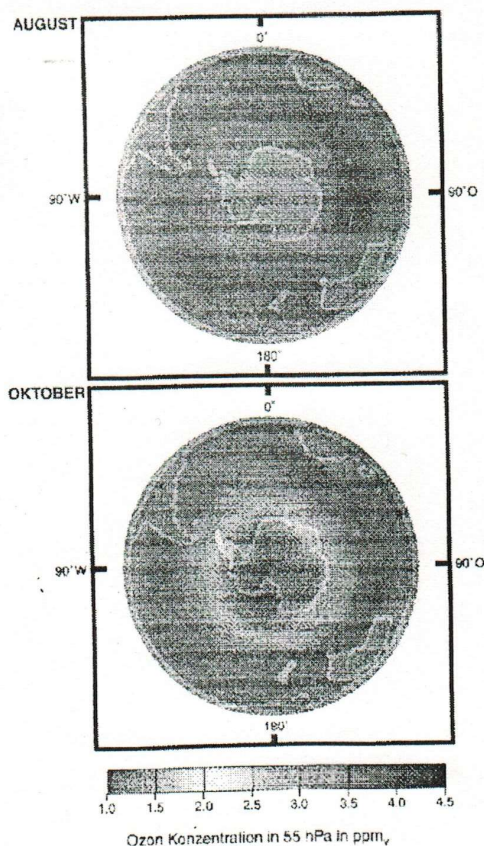
(4) Die Konzentration der Ozonmoleküle in einem bestimmten Atmosphärengebiet kann je nach Stärke der solaren UV-Strahlung, Einsetzen komplexer chemischer Reaktionen bei Anwesenheit unterschiedlicher Spurengase und je nach Klimabedingungen mehr oder weniger stark schwanken. Schwächere oder die als Ozonloch bezeichneten stärkeren Ausdünnungen der Ozonschicht können natürlichen Ursprungs oder, wie in letzter Zeit verstärkt, durch die Einwirkung des Menschen bedingt sein. So ist in Zeiten eines Aktivitätsminimums auf der Sonne auch die einfallende UV-Strahlung im Allgemeinen schwächer, die Produktionsrate von O_3

herabgesetzt. Im Aktivitätsmaximum kann verstärkt einsetzende Teilchenstrahlung Ozonmoleküle zerstören. Vulkanausbrüche und Algenentwicklungsprozesse mit dem Ausstoß von die Ozonschicht angreifenden Reagenzien, der Aufstieg der vom Menschen produzierten sogenannten Ozonkiller in die Stratosphäre oder der Ausstoß von Flugzeugabgasen in großen Höhen sind typische Prozesse, die die uns schützende Ozonschicht mehr oder weniger stark abbauen können.

(5) Fluorchlorkohlenwasserstoffe wie zum Beispiel CFCl_3 , CF_2Cl_2 , aber auch CHClF_2 , Halogenide wie CF_2ClBr oder CBrF_3 , Stickoxide oder Chlorkohlenwasserstoffe werden als Ozonkiller bezeichnet, weil sie ein hohes Ozonzerstörungspotential haben. Wie die bei Algenabbauprozessen freigesetzten Jodoxide enthalten sie mit Chlor, Brom und Jod sehr reaktionsfreudige Halogene, die in einer katalytischen Reaktion die Umwandlung von Ozon in O_2 -Moleküle erzwingen.



Brom und Jod werden in der Ozonschicht seltener angetroffen als Chlor, ihr Wirkungsgrad bei der Zerstörung der Ozonmoleküle ist aber erheblich größer. Nach Ablauf einer Reaktion wird das Halogenradikal X wieder freigesetzt, kann so bis zu 100 000 weitere Ozonmoleküle spalten, ehe es durch Einbau in andere Moleküle zumindest vorübergehend in sogenannten Reservoirwolken „unschädlich“ gemacht wird. Die mittlere Lebensdauer der Ozonkiller kann dabei mehr als 50 Jahre betragen.



(6) Die vom Menschen produzierten Ozonkiller sind nicht wasserlöslich, können deshalb aus der Atmosphäre durch Regenwasser nicht ausgewaschen werden. In einem Zeitraum von mehr als 10 Jahren steigen sie langsam durch die Troposphäre in die Stratosphäre auf und bilden Wolken aus mit den für die Ozonschicht zunächst ungefährlichen Reservoirmolekülen. Vor allem über den kalten Polargebieten kondensieren im Winter bei fehlender Sonneneinstrahlung und Temperaturen unter -78°C in polaren Stratosphärenwolken Salpeter- und Schwefelsäure- mit Wassermolekülen zu Tröpfchen aus. Erst an der Oberfläche der entstehenden Eiskristalle werden aus den reaktionsträgen Reservoirmolekülen bei einsetzender Sonnenstrahlung Halogenradikale oder Halogenide freigesetzt, die unter den hier anzutreffenden Bedingungen den Abbau der Ozonschicht durch katalytische Spaltung der Ozonmoleküle beginnen und ein Ozonloch produzieren. Erst wenn wärmere Luftströmungen mit höherer Ozonkonzentration in die Polargebiete eindringen und sich die Bedingungen für den Ozonabbau „verschlechtern“, kann sich das Ozonloch wieder schließen.

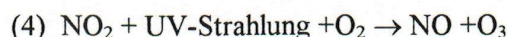
(7) Besonders „günstige“ Bedingungen für die Zerstörung der Ozonmoleküle bestehen in der Antarktis. Die hier anzutreffenden stabilen, ringförmig um das Polargebiet laufenden Luftströmungen unterbinden im (Süd-)Winter über einen längeren Zeitraum den Wärmeaustausch mit den wärmeren äquatorialen Zonen. Bei aufsteigender Sonne im antarktischen Frühling

(Oktober) beginnt die Ozonzerstörung und Abnahme der Ozonmenge an verschiedenen Orten auf bis zu 100 Dobson. Große Ozonlöcher werden heute hier sehr regelmäßig mit steigender Tendenz beobachtet. Auch wenn über der Arktis und Grönland aus geographischen Gründen polare Wirbelströme nicht so stabil sind, werden in den letzten Jahren auch über dem nördlichen Polargebiet zunehmend Ozonlöcher mit Ozonabnahme von bis zu 30% vermessen, seit 1992 gibt es Ausdünnungen und Minilöcher auch in Nordeuropa, über Deutschland und dem Himalaya.

(8) Flugzeuge, die oft an der oberen Grenze der Troposphäre fliegen, stoßen aus ihren Triebwerken große Mengen ozonzerstörender Stickoxide aus. 50% der gesamten Wasserdampfmenge in der Stratosphäre basiert dabei auf dem unvermindert zunehmenden Flugverkehr. Zusammen mit den anderen Treibhausgasen CO₂ und N₂O fördert dies den verstärkten Ozonabbau durch Abblocken des Wärmetransportes aus der Troposphäre und daraus resultierender Abkühlung sowie Ausbildung von Wolken in der polaren Stratosphäre, in denen dann zu Beginn des Frühlings Ozonlöcher produziert werden können. Aus Reiskulturen und Urwaldsümpfen steigen große Mengen Methan auf. Diese Moleküle wandeln sich in höheren Atmosphärenschichten durch Einwirkung von UV-Strahlung in Gegenwart von Sauerstoff ebenfalls in die Treibhausgase und Unterstüztzermoleküle der Ozonzerstörung CO₂ und H₂O um. Bei Vulkanausbrüchen werden unter Umständen mehrere Millionen Tonnen Schwefeldioxid SO₂ und Kohlenwasserstoffgas HCl in die höheren Atmosphärenschichten geschleudert. Messungen zeigen zwar, daß große Mengen dieser Gase durch Ausbildung von Wasser schnell wieder ausregnen. Dennoch kann ein solcher Ausbruch den Abbau von Ozon zusätzlich unterstützen. Die Biosphäre ist Ausgangspunkt aufsteigender Wolken jodorganischer Verbindungen. Jodkohlenwasserstoffe werden dabei vor allem von Makroalgen in Küstennähe oder auch in großen, vor allem in Polargebieten gelegenen Phytoplanktonfeldern gebildet. Dijodmethan und Methyljodid gelangen in den Tropen in konvektiv aufsteigenden Wolken unter Umständen recht schnell in die Stratosphäre und greifen hier die Ozonmoleküle an.

(9) Auch wenn die Produktion der „Mafia der Ozonkiller“ heute, allerdings noch sehr halbherzig und nur teilweise gestoppt wird, steigt der Chlorgehalt der Atmosphäre dennoch weiter unaufhaltsam, sind in Zukunft regelmäßig noch größere Ozonlöcher zu erwarten. Untersuchungen der NASA sagen bis zum Jahre 2000 im Winter eine Reduzierung der Ozonschicht über den USA und Nordeuropa auf 40% der heutigen Werte voraus. Schon 1% Ozonverlust bewirken dabei eine Erhöhung der UV-Strahlungsintensität um 2%, die Steigerung der Hautkrebsrate aber bereits um 7%. Für das Ende dieses Jahrhunderts werden spürbare Beeinträchtigungen der Biosphäre und größere Ernteausfälle erwartet. Wie heute schon in Chile oder Australien alltäglich, wird die Beeinträchtigung auch unserer Gesundheit in Nordeuropa durch vermehrte UV-Strahlung bald sehr deutlich werden. Starke Zunahme von Hautkrebs, Augenschäden und der Störung des Immunsystems werden die Folge sein.

(10) Eine globale Ausdünnung der Ozonschicht erhöht die UV-Einstrahlung auf der Erdoberfläche. Als Folge davon besteht in Smogbereichen größerer Städte in den letzten Jahre zunehmend die Gefahr der Ausbildung toxischen troposphärischen Ozons. NO₂-Abgasmoleküle vor allem der Autos werden bei starker Sonneneinstrahlung gespalten. Ein freigesetztes Sauerstoffatom lagert sich dabei unter Ausbildung von Ozon O₃ und Stickstoffmonoxid an ein normales O₂-Molekül an:



Nachts, bei fehlender Sonneneinstrahlung, läuft die Reaktion in umgekehrter Richtung ab, so daß sich der Ozongehalt der Luft langsam wieder reduziert. Auf dem Lande fahren aber nachts im Allgemeinen nicht so viele Autos wie in der Stadt. Es stehen hier also nicht soviel Abgase zur Verfügung, um das Ozon wieder zu spalten. Makabererweise läuft so die Verbesserung der Luftqualität auf dem Lande deutlich langsamer ab als in der Stadt, noch länger spüren wir hier

durch Reizung der Schleimhäute heftige Augen- und Halsreizungen, im Extremfall unter Umständen deutliche Beeinträchtigungen der Lungenfunktion.

9. Zusammenhänge der Ozonloch- und Treibhauseffekt-Probleme

(1) Die Atmosphäre, in der sich die Entwicklung unseres komplexen Klimasystems abspielt, ist durch eine große Anzahl von Wechselwirkungsprozessen zwischen den unterschiedlichen Klimafaktoren gekennzeichnet. Nichtlineare Zusammenhänge und Rückkopplungsphänomene betreffen so auch die gegenseitige Beziehung der Ozonloch- und Treibhauseffekt-Problematik. Negative oder positive Rückkopplung mit einer Abschwächung beziehungsweise Verstärkung einer Entwicklung, auch chaotisches Verhalten sind dabei natürliche Entwicklungsprozesse. In diesem Jahrhundert ist es jedoch erstmals der Mensch, der von außen her sehr massiv in das dynamische Klimasystem eingreift, unter Umstände natürliche Regulierungsprozesse blockiert und neue Entwicklungswege erzwingt. Es besteht die Gefahr, daß wir ein sensibles Gleichgewicht auch im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt und der stratosphärischen Ozonschicht stören und Fehlentwicklungen provozieren.

(2) Algen- und Planktonkolonien übernehmen eine sehr wichtige Rolle bei Regulierungsprozesse im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt. Sie wachsen in den oberen Schichten der Weltmeere besonders stark in der Umgebung der Polargebiete. Sie nehmen sowohl aus der Atmosphäre als auch aus tieferen Meeresschichten Nährstoffe wie Phosphate, Silicate und Nitrate, vor allem aber auch für ihr Wachstum Kohlendioxid auf. Unter Einwirkung der solaren UV-Strahlung läuft in ihnen eine Photosynthese ab, bei der CO_2 in die Pflanzenstrukturen eingebaut, Sauerstoff in die Atmosphäre abgegeben wird. Die Versorgung der Algen mit dem Treibhausgas verläuft dabei in einem globalen Pol-Äquator-Kreislauf in der Atmosphäre beziehungsweise im Meer. So verdampft im Meer gelöstes Kohlendioxid im äquatorialen Breiten, steigt auf und strömt danach polwärts. Hier sinkt es wieder ab, kann im Wasser gelöst oder von den Algen aufgenommen werden. Die beim Algenwachstum gebildeten Karbonate sinken in größere Meerestiefen ab, bauen hier karbonatreiche Sedimente auf. Das im Nordatlantik salzhaltige, schwerere Oberflächenwasser sinkt hier ab. Es nimmt dabei das in ihm gelöste CO_2 mit und strömt in Richtung zum Äquator. Nach etwa hundert Jahren erreicht es tropische Zonen und wird hier wieder verdampft. Der globale CO_2 -Kreislauf ist so geschlossen.

(3) Das folgende Scenario beschreibt im Zusammenhang mit den Algenkulturen einen befürchteten Ablauf von Prozessen, bei dem durch ausgehende menschliche Einwirkung bei gegenseitige positive Rückkopplung sowohl eine „weglaufende“ Treibhauseffektverstärkung als auch eine anhaltende Ozonlochvergrößerung die Folge sein könnte.

- Als die Entwicklung initiierender Verursacher wird dabei die Tatsache der weiteren Produktion von Ozonkillern, insbesondere von Fluorchlorkohlenwasserstoffen angesehen.
- Wie beschrieben bilden sich Ozonlöcher aus.
- Die für das Leben auf der Erde so gefährliche UV-B-Strahlung dringt jetzt leichter in tiefere Schichten der Erdatmosphäre ein und schädigt dabei unter anderem auch das Wachstum der Algen.
- Zum Einen kann jetzt weniger Kohlendioxid gebunden werden, dies verstärkt direkt den Treibhauseffekt.
- Während so die Troposphäre aufgeheizt wird, kühlt die angrenzende Stratosphäre aus, weil die vom Erdboden ausgehende Wärmestrahlung vorher absorbiert oder zurückreflektiert wird.
- Zum Andern werden in den Algenkulturen vermehrt jodoxidhaltige Abbauprodukte frei, die mehr oder weniger schnell in die Stratosphäre aufsteigen.
- Sowohl die Abkühlung der Stratosphäre als auch die Injektion des Halogens Jod verstärken aber wieder das Ozonabbaupotential.

An dieser Stelle ist der Kreislauf geschlossen. Ausgelöst durch die Erzeugung von Ozonkillern schaukeln sich jetzt *Ozonabbau und Verstärkung des Treibhauseffektes* in einem positiven Rückkopplungsprozess auf.

(4) Die vom Menschen erzeugten, in die Atmosphäre injizierten Spurengase erweisen sich also oft gleichzeitig sowohl als *Ozonkiller* als auch als *Treibhausgase*. Die ebenfalls anthropogen erzeugten Aerosole verbergen zwar unter Umständen vorübergehend deren fatale Klimawirkung, gleichzeitig erhöhen aber sie das *toxische Potential* in der Luft.

Literatur

- [1] Christian Dietrich Schönwiese, Klima im Wandel, Von Treibhauseffekt, Ozonloch und Naturkatastrophen, rororo Sachbuch, 1994
- [2] Kenneth R. Lang, Sun, Earth and Sky, Springer Verlag 1995
- [3] Jürgen Bruhn, Ökoreport 2000, Wege aus der Umweltkatastrophe, Weitrecht Verlag 1994
- [4] Paul Harrison, Die Dritte Revolution, Antworten auf Bevölkerungsexplosion und Umweltkatastrophen, Spektrum Akademischer Verlag, 1994
- [5] Bernd Müller, Gaby Heinke, Wetter und Klima, Bild der Wissenschaft und CHIP-Spezial, 1995
- [6] Atmosphäre, Klima und Umwelt, Spektrum der Wissenschaft, Verlagsgesellschaft mbH, 1990
- [7] Jonathan Weine, Die Klima-Katastrophe, Wie der Treibhauseffekt unser Leben verändern wird, Goldmann Verlag 1995
- [8] Reiner Klingholz, Wahnsinn Wachstum, wieviel Mensch erträgt die Erde?, GEO im Verlag Gruner+ Jahr AG & Co, Hamburg 1994
- [9] dtv-Atlas zur Ökologie, Tafeln und Texte, Deutscher Taschenbuch-Verlag, 1994
- [10] Zukunftsfähiges Deutschland, Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung, BUND und MISEREOR, Birkhäuserverlag, 1996
- [11] Stephan Schmidheiny, Kurswechsel, Globale unternehmerische Perspektiven für Entwicklung und Umwelt, Artemis Verlags GmbH, München 1992
- [12] Jacques Laskar, Der Mond und die Stabilität des Erdklimas, Spektrum der Wissenschaften 9/93
- [13] Wallace S. Broecker, Plötzlicher Klimawechsel, Spektrum der Wissenschaften 1/96
- [14] Manfred Gottwald, Atmosphärenforschung-Angewandte Astrophysik, Sterne und Weltraum 8-9/95
- [15] H.H. Voigt, Abriß der Astronomie, BI Wissenschaftsverlag, Zürich 1988
- [16] John R. Herman u. Richard A. Goldberg, Sun, Weather and Climate, National Aeronautics and Space Administration, Washington D.C. 1987
- [17] Robert S. Kandel, Earth and Cosmos, Pergamon Press Ltd., Oxford 1980
- [18] S.-I. Akasafu u. Y. Kamide (Hrsg.), The Solar Wind and the Earth, Terra Scientific Publishing Company, Tokio 1987
- [19] Angriff der Winzlinge, Der Spiegel 8/1996
- [20] Deutsches Klimarechenzentrum, Deutsches Klimarechenzentrum, Hamburg 1994
- [21] Die überraschende Klima-Wende, Bild der Wissenschaft 2/94
- [22] Die Weltgefahren des 21. Jahrhunderts, Bild der Wissenschaft 2/96
- [23] Günther Ebert, Klimaveränderungen, Sterne und Weltraum 6/92
- [24] Erwin Lausch, Klima 93, Treibhauseffekt- Unbelehrbar in die heiße Zukunft?, GEO 93
- [25] Palmen auf Helgoland, Der Spiegel 12/95

- [26] H. Yoshimura, The 10-year time delay of the solar cycle luminosity modulation..., Astron.Nachr. 316, 1995
- [27] Rita Stellmacher und Werner Mende, Sonnenaktivität und Klimaveränderungen, Wiss.Zeit.d.Humboldt-Univ. zu Berlin, 41/1992
- [28] Hinrich Bäsemann, Die Klimaconnection, Bild der Wissenschaft 2/92
- [29] Claus Fröhlich, Solar Irradiance Variability, Physikalisch-Meteorologisches Observatorium, Davos 1992
- [30] Die Treibhaus-Fenster schließen sich, MPG Presseinformation, München 14.Februar 1994
- [31] Claude J.Allégre u. Stephen H.Schneider, Die Entwicklung der Erde, Spektrum der Wissenschaften Special- Leben und Kosmos, 1995
- [32] Wallace S.Broecker u. George H.Denton, Ursachen der Vereisungszyklen, Spektrum der Wissenschaften, 1990
- [33] Umweltbereich Luft, Folienserie des Fonds der Chemischen Industrie, 22 Textheft, Frankfurt 1995
- [34] Umweltbereich Luft, Praxis der Naturwissenschaften Chemie, Heft 2/45 Aulis Verlag Deubner&Co KG, Köln 1996