

Die Umwelt in Europa:  
Der zweite Lagebericht

Kapitel 2. Klimaveränderung

European Environment Agency



## 2. Klimaveränderung

### Wichtigste Erkenntnisse

Die Jahresmitteltemperatur der Luft hat sich in Europa seit 1900 um 0,3 bis 0,6°C erhöht. Anhand von Klimamodellen werden weitere Steigerungen prognostiziert, durch die dieser Wert im Jahre 2100 etwa 2°C über dem von 1990 liegen könnte. Dabei wird für Nordeuropa eine größere Steigerung erwartet als für den südlichen Teil des Kontinents. Zu den potentiellen Folgen gehören ein Anstieg des Meeresspiegels, häufigere und heftigere Stürme, Überschwemmungen und Dürreperioden sowie Veränderungen der Flora und Fauna und der landwirtschaftlichen Erträge. Wie gravierend diese Auswirkungen sein werden, hängt zum Teil davon ab, in welchem Umfang in den nächsten Jahren und Jahrzehnten Anpassungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Um zu gewährleisten, daß die Temperatur künftig innerhalb von zehn Jahren um nicht mehr als 0,1°C und der Meeresspiegel im gleichen Zeitraum um nicht mehr als 2 cm steigt (vorläufige, für eine nachhaltige Entwicklung angesetzte Grenzwerte), müßten die Industrieländer die Emissionen von Treibhausgasen (Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid und verschiedene halogenierte Verbindungen) bis 2010 um mindestens 30 bis 55% gegenüber dem Stand von 1990 senken.

Der Umfang dieser Verringerung ginge weit über die Verpflichtungen hinaus, die die Industriestaaten auf der dritten Konferenz der Vertragsparteien des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) im Dezember 1997 in Kyoto eingegangen sind. Auf dieser Konferenz hatten die meisten europäischen Staaten vereinbart, die Werte von 1990 bis zum Jahre 2010 um 8 % zu unterschreiten. Einige mittel- und osteuropäische Länder verpflichteten sich, bis dahin die Treibhausgasemissionen um 5 bis 8 % unter das Niveau von 1990 zu senken. Die Russische Föderation und die Ukraine sagten zu, ihre Emissionen auf dem Stand von 1990 zu stabilisieren.

Es ist nicht sicher, daß die EU die ursprüngliche Zielvorgabe der UN-Klimarahmenkonvention aus dem Jahre 1992, die Stabilisierung des Ausstoßes von Kohlendioxid (dem wichtigsten Treibhausgas) bis zum Jahr 2000 auf dem Stand von 1990, erreichen wird, da derzeit für das Jahr 2000 Emissionswerte vorausgesagt werden, die 5 % über dem Stand von 1990 liegen. Hinzu kommt, daß entgegen dem in Kyoto gesetzten Ziel einer 8%igen Verringerung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2010 (für einen "Korb" von sechs Gasen einschließlich Kohlendioxid) im neuesten "Business as usual"-Szenario der Europäischen Kommission (ausgehend von der Situation vor der Konferenz von Kyoto) für den Zeitraum 1990-2010 eine 8%ige Steigerung des Kohlendioxidausstoßes prognostiziert wird, wobei die stärkste Erhöhung (39 %) durch den Verkehrssektor verursacht würde.

Eine der vorgeschlagenen zentralen Maßnahmen auf Gemeinschaftsebene, eine Energie-/CO<sub>2</sub>-Steuer, wurde noch nicht verabschiedet, doch einige westeuropäische Staaten (Österreich, Dänemark, Finnland, die Niederlande, Norwegen und Schweden) haben bereits derartige Steuern eingeführt. Außerdem besteht Handlungsspielraum für andere Schritte zur Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, von denen einige derzeit von verschiedenen europäischen Staaten und der EU ergriffen werden. Dazu gehören Programme zur verbesserten Nutzung der Energie, der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung, die Umstellung von Kohle auf Erdgas bzw. Holz als Brennstoff, Maßnahmen zur Veränderung der Verkehrsträgerstruktur und Aufforstungsprogramme zur Erhöhung der pflanzlich gebundenen CO<sub>2</sub>-Mengen (Kohlenstoffsinken).

Ausschlaggebend für die Höhe des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ist die immer noch von fossilen Brennstoffen dominierte Energienutzung. In Westeuropa haben sich die aus dem Einsatz fossiler Brennstoffe herrührenden Kohlendioxidemissionen im Zeitraum 1990-1995 auf Grund der Rezession, der Umstrukturierung der deutschen Industrie und der Umstellung von Kohle auf Erdgas zur Stromerzeugung um 3 % verringert. In Westeuropa sind die Energiepreise im letzten Jahrzehnt stabil geblieben und weisen im Vergleich zu früher ein relativ niedriges Niveau auf, weshalb kaum Anreize für eine Verbesserung der Energieausnutzung bestehen. Die Energieintensität (Endenergieverbrauch je Einheit BIP) ist seit 1980 nur um 1 % jährlich zurückgegangen.

Die Verteilung des Energieverbrauchs hat sich zwischen 1980 und 1995 deutlich verändert. Im Verkehrssektor stieg der Energieverbrauch um 44 %, in der Industrie nahm er um 8 % ab, in sonstigen Bereichen erhöhte sich der Brennstoffverbrauch um 7 %. Zurückzuführen ist dies vor allem auf die Zunahme des Straßenverkehrs bzw. die Abkehr von der energieintensiven Schwerindustrie. Insgesamt erhöhte sich der Energieverbrauch zwischen 1985 und 1995 um 10 %.

Der Anteil der Kernenergie an der Gesamtenergieversorgung ist in Westeuropa zwischen 1980 und 1994 von 5 % auf 15 % gestiegen. Schweden und Frankreich decken mit Atomstrom etwa 40 % ihres gesamten Energiebedarfs.

In Osteuropa sank der durch den Einsatz fossiler Brennstoffe verursachte Kohlendioxidausstoß zwischen 1990 und 1995 um 19 %, was hauptsächlich auf die Umgestaltung der Wirtschaft zurückzuführen ist. Der verkehrsbedingte Energieverbrauch sank in Mittel- und Osteuropa um 3 % und in den Neuen Unabhängigen Staaten um 48 %. In der Industrie ist ein Rückgang des Energieverbrauchs um 28 % in MOE und um 38 % in den NUS zu verzeichnen. Die Energieintensität ist in MOE etwa dreimal so hoch und in den NUS vermutlich sogar fünfmal so hoch wie in Westeuropa, so daß hier ein beträchtliches Potential für Energieeinsparungen besteht. In einem als Bezugsgröße dienenden "Business as usual"-Szenario ergibt sich für den Energieverbrauch im Jahre 2010 in den Neuen Unabhängigen Staaten ein Wert, der 11 % unter dem Stand von 1990 liegt, für Mittel- und Osteuropa eine Steigerung um 4 % gegenüber 1990.

Der Anteil der Kernenergie an der Energieversorgung insgesamt stieg zwischen 1980 und 1994 in den NUS von 2 % auf 6 % und in MOE von 1 % auf 5 %. In Bulgarien, Litauen und Slowenien deckt der Atomstrom etwa ein Viertel des gesamten Energiebedarfs.

Die Methanemissionen gingen in MOE und den NUS zwischen 1980 und 1995 um 40 % zurück. Es besteht jedoch noch viel Spielraum für weitere Verringerungen in ganz Europa, vor allem bei den Gasversorgungsnetzen und im Kohlenbergbau. Der Ausstoß von Distickstoffoxid aus Industrieanlagen und der Einsatz von Mineraldüngern könnten ebenfalls in ganz Europa noch weiter reduziert werden.

Die Emissionen von FCKW sind im Zuge des Ausstiegs aus ihrer Erzeugung und Verwendung rapide zurückgegangen. Einsatz und Ausstoß ihrer Ersatzstoffe, der H-FCKW (die ebenfalls zu den Treibhausgasen zählen) nehmen jedoch zu, ebenso wie die Emissionen der erst vor relativ kurzer Zeit als Treibhausgase ausgewiesenen SF<sub>6</sub> (Schwefelhexafluorid), H-FKW (wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe) und FKW (Perfluorkohlenwasserstoffe), die zu dem "Korb" von Gasen gehören, für den in Kyoto Reduktionsziele vereinbart wurden.

## 2.1. Einleitung

Es hat sich weithin die Erkenntnis durchgesetzt, daß der Klimawandel weltweit eine ernste Gefahr für die Umwelt darstellt. Die Problematik wird im Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) angesprochen und wurde jüngst auf der dritten Konferenz der Vertragsparteien des UNFCCC im Dezember 1997 in Kyoto behandelt. Von der EU wurde sie als eines der umweltpolitischen Schlüsselthemen des Fünften Umweltaktionsprogramms herausgestellt.

Das Klima wird in starkem Maße von Veränderungen der atmosphärischen Konzentration einer Reihe von Gasen beeinflusst, die die Wärmeabstrahlung der Erde (Infrarotstrahlung) behindern ("Treibhauseffekt"). Wasserdampf und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre bewirken den natürlichen Treibhauseffekt, ohne den die Erdoberfläche etwa 33°C kälter wäre (IPCC, 1990). Andere wichtige Treibhausgase sind Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) und halogenierte Verbindungen wie FCKW und Perfluorkohlenwasserstoffe (FKW).

Durch zivilisationsbedingte Tätigkeiten des Menschen hat sich die Konzentration der Treibhausgase und anderer Schadstoffe in der Atmosphäre in den letzten 100 Jahren erhöht. Im gleichen Zeitraum wurde ein starker Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur beobachtet. Obwohl nicht feststeht, inwieweit diese Erwärmung Treibhausgasen zugeschrieben werden kann, legt die Abwägung aller

Erkenntnisse nahe, daß die Einwirkung des Menschen eine Verstärkung des Treibhauseffekts bzw. eine globale Erwärmung verursacht (IPCC 1996a).

Hauptursache für die Verstärkung des Treibhauseffekts ist die Verbrennung fossiler Energieträger. Beteiligt sind außerdem die Landwirtschaft und Veränderungen in der Landnutzung, darunter die Abholzung von Wäldern, bestimmte Industrieprozesse wie die Zementherstellung, die Entsorgung von Abfällen auf Deponien sowie die Kälteerzeugung, die Kunststoffschäumung und die Verwendung von Lösungsmitteln.

Es wird davon ausgegangen, daß der aus dem verstärkten Treibhauseffekt resultierende Klimawandel vielfältige Folgen hat und unter anderem bewirkt:

- den Anstieg des Meeresspiegels und potentielle Überschwemmungen von Niederungsgebieten,
- das Schmelzen der Gletscher und des Meereises,
- Veränderungen der Niederschlagsverteilung mit Auswirkungen in Form von Überschwemmungen und Dürreperioden,
- häufigeres Auftreten von Klimaextremen, insbesondere von extrem hohen Temperaturen.

Die Klimaveränderung wirkt sich auf die Ökosysteme, die Gesundheit, Hauptwirtschaftszweige wie den Agrarsektor und auf die Wasserressourcen aus.

Obwohl die Klimaforscher in den letzten Jahren weltweit beträchtliche Fortschritte bei der Aufklärung der Zusammenhänge beispielsweise zwischen dem Ausstoß von Treibhausgasen, deren Konzentration in der Atmosphäre, dem Temperaturanstieg und den wirtschaftlichen Folgekosten der Klimaveränderung erreicht haben, besteht noch keine Klarheit darüber, wie schwerwiegend die Auswirkungen sein werden. Der Zwischenstaatliche Ausschuß über Klimaänderungen (IPCC) hat die möglichen Konsequenzen einer anhaltenden Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen durch den Menschen anhand einer Reihe von Szenarien für den Zeitraum bis zum Jahre 2100 bewertet. Diese reichen von "Business as usual" bis zu solchen Szenarien, die von einem geringen Wachstum und insbesondere einer starken Akzentverschiebung zugunsten nichtfossiler Energieträger und einer wesentlich besseren Energieausnutzung ausgehen.

Die Ergebnisse des IPCC (IPCC, 1996a) weisen eine erhebliche Schwankungsbreite auf. Beispielsweise prognostizieren sie einen globalen Anstieg der mittleren Temperatur um 1 bis 3,5°C bis zum Jahre 2100. Noch liegen viele Aspekte der Klimaveränderung, insbesondere im regionalen und lokalen Rahmen, im Ungewissen. Die europäische Forschung hat zur Verringerung der Unklarheiten beigetragen, aber es sind noch weitere Arbeiten notwendig, so zum Beispiel zur Verbesserung regionaler Klimamodelle.

Zwar ist noch ungewiß, bis zu welchem Grad die Klimaveränderung als tragbar angesehen werden könnte, doch deutet alles darauf hin, daß Handlungsbedarf seitens der Entscheidungsträger besteht, um die Treibhausgasemissionen einzudämmen und der globalen Erwärmung entgegenzuwirken. Unstrittig ist auch, daß es zu ermitteln gilt, in welchem Umfang schädliche Folgen des Klimawandels durch Anpassungsmaßnahmen minimiert werden könnten. Eine zentrale Frage ist hierbei die zeitliche Planung der politischen Maßnahmen, da zwischen einer Verringerung der Emission von Treibhausgasen und der Stabilisierung der Konzentrationen in der Atmosphäre eine recht große Zeitspanne liegt.

In diesem Kapitel werden Daten und Analysen über einige Schlüsselindikatoren der Klimaveränderung, über Emissionen und Konzentrationen von Treibhausgasen sowie über die Energienutzung als maßgeblichem Faktor des Klimawandels vorgelegt. Das Kapitel endet mit einem Überblick über politische Entwicklungen, die für Europa relevant sind.

## **2.2. Zeichen und Auswirkungen der Klimaveränderung**

### *Temperatur*

Das globale Mittel der bodennahen Lufttemperatur hat sich seit dem Ende des 19. Jahrhunderts um 0,3 bis 0,6°C erhöht (IPCC, 1996b). Im Jahre 1997 (dem weltweit wärmsten Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen) lag das globale Mittel der bodennahen Temperatur 0,43°C über dem Durchschnitt von 1961-1990. Abbildung 2.1 zeigt die globalen Mittelwerte der bodennahen Temperatur seit 1900 im Vergleich zum Durchschnitt für den Zeitraum 1961-1990.

Die Entwicklung in Europa (Abbildung 2.2) entspricht weitgehend dem weltweiten Trend, wobei die neunziger Jahre am wärmsten sind. Jedoch fallen die Schwankungen von einem Jahr zum anderen in Europa stärker aus, da die Mittelwertbildung bei der Zeitreihe für eine kleinere Fläche erfolgt.

Während nach der zentralen IPCC-Schätzung der globale Temperaturmittelwert im Jahre 2100 um 2°C höher liegen wird als 1990 (bei einer Schwankungsbreite von 1°C bis 3,5°C), könnte durchaus eine größere regionale Variabilität bestehen. Entsprechend den Klimamodellen wird der durchschnittliche Temperaturanstieg in Europa ähnlich verlaufen wie die geschätzte globale Entwicklung, wobei in den nördlichen Breiten mit einer stärkeren Erwärmung zu rechnen ist als im Süden.

#### *Meeresspiegel*

Aufgrund der globalen Erwärmung kommt es auch zu einer Erwärmung und daraus resultierend einer thermischen Ausdehnung der Ozeane sowie zu einem verstärkten Abschmelzen von Gletscher- und Meereseis. Die Klimaveränderung kann sich also auf den Meeresspiegel auswirken, der derzeit im Steigen begriffen ist. Er hat in den vergangenen 100 Jahren um 10 bis 25 cm an Höhe gewonnen, wobei der angegebene Bereich die Unterschiede in den verschiedenen Teilen der Welt widerspiegelt. Eine Veränderung der Anstiegsrate erfolgt scheinbar nicht. Wann der derzeitige Anstieg eingesetzt hat, ist zwar nicht bekannt, fest steht aber, daß die Rate bedeutend über dem Durchschnitt der letzten Jahrtausende liegt (IPCC, 1996b).

IPCC-Modellrechnungen zufolge könnte der Meeresspiegel bis 2100 um 50 cm (bei einem Bereich von 15 - 95 cm) über dem derzeitigen Niveau liegen (IPCC, 1996b). Noch bestehen erhebliche Unsicherheiten im Hinblick auf die Ergebnisse der Modellrechnungen, insbesondere was den Anteil und das Verhalten der Polareisschichten anbelangt (IPCC, 1996b).

Der Anstieg des Meeresspiegels könnte sich unter anderem wie folgt auswirken:

- Überschwemmung und permanente Überflutung von Feucht- und Niederungsgebieten,
- Erhöhung des Salzgehalts von Ästuarmündungen,
- Schädigung von Grundwasserleitern.

#### **Abbildung 2.1 Globaler Temperaturmittelwert, 1900-1997**

Jährliche Abweichung von der Jahresmitteltemperatur von 1961-1990  
normaler Mittelwert  
nach Gauß

**Quelle:** WOM

#### **Abbildung 2.2 Europäischer Temperaturmittelwert, 1900-1996**

Jährliche Abweichung von der Jahresmitteltemperatur von 1961-1990  
normaler Mittelwert  
nach Gauß

**Quelle:** ECSN European Climate Support Network

Zu dem Gebieten mit der größten Gefährdung zählen Gezeitendeltas, Küstenebenen, Sandstrände, Strandwallinseln, Küstenfeuchtgebiete und Ästuar. In Europa sind demnach die Küsten der Niederlande, Deutschlands, der baltischen Staaten, Rußlands und einige Flußdeltas am Mittelmeer am stärksten gefährdet (IPCC, 1997).

1990 lebten in Europa etwa 30 Millionen Menschen unterhalb des 1000jährigen Sturmhochwasserpegels. Bei einem Anstieg des mittleren Meeresspiegels um einen Meter würde sich diese Zahl auf etwa 40 Millionen erhöhen (IPCC, 1997). Zudem wird eingeschätzt, daß bei einer solchen Erhöhung des Meeresspiegels die Salzmarschenflächen um 45 % und sonstige Tidegebiete um 35 % geschmälert werden. Andere Belastungen würden die Auswirkungen auf diese Flächen insgesamt verstärken, wobei mit potentiell gravierenden Folgen für die biologische Vielfalt, insbesondere für die Vogelwelt zu rechnen wäre (IPCC, 1997).

Küstenregionen können aber auch noch durch andere Auswirkungen des Klimawandels als durch den Anstieg des Meeresspiegels beeinflußt werden. Beispielsweise könnte in den Niederlanden eine 10%ige Zunahme der Intensität von Stürmen, bei denen vor allem die Spitzenstärke eine Rolle spielt, im Verein mit wechselnden Windrichtungen mehr Schaden anrichten als ein Anstieg des Meeresspiegels um 60 cm (Bijlsma et al., 1996, Peerbolte et al., 1991).

Als mögliche Maßnahmen, die zur Reaktion auf den drohenden Anstieg des Meeresspiegels kombiniert eingesetzt werden können, kommen in Betracht:

- Planmäßiger Rückzug - Aufgabe von Land und Gebäuden und Umsiedlung ins Inland,
- Anpassungsmaßnahmen - Einstellung auf die Gefahr, aber Weiternutzung der Flächen,
- Schutzmaßnahmen - Sicherung gefährdeter Flächen.

Die Kosten für die Einstellung auf einen Anstieg des Meeresspiegels um einen Meter und einen entsprechenden Schutz dagegen wurden für die Niederlande auf 12 300 Mio. USD, für Polen auf 1 400 Mio. USD und für Deutschland auf 23 500 Mio. USD geschätzt (alle Werte in USD von 1990) (Bijlsma et al., 1996).

Eingehende Untersuchungen wurden über die Auswirkungen und Kosten von Schäden und Anpassungsmaßnahmen im Vereinigten Königreich durchgeführt (UK CCIRG, 1996). Etwa 40 % der britischen verarbeitenden Industrie befinden sich an der Küste oder in deren Nähe. In England und Wales sind 31 % der Küste erschlossenes Land, und 26 Millionen Menschen leben in städtischen Ballungsgebieten an der Küste. Zudem liegen 8 % gute landwirtschaftliche Nutzfläche ("Bodengütekategorie 1-3") weniger als fünf Meter über dem Meeresspiegel und sind daher überflutungsgefährdet (Whittle 1990). Davon machen 198 000 ha 57 % der besten landwirtschaftlichen Nutzfläche ("Bodengütekategorie 1") von England und Wales aus. Selbst wenn diese Flächen besser vor Überschwemmungen geschützt sind, können sie unter extremen Bedingungen dennoch überflutet werden. Darüber hinaus verschlechtert sich durch den höheren Wasserspiegel die Entwässerung des Bodens, während der Salzgehalt steigt, so daß die landwirtschaftliche Produktivität abnimmt. Ähnliche Auswirkungen sind auch andernorts zu erwarten.

Die Kosten für den Schutz des Vereinigten Königreichs als Ganzes wurden zwar nicht berechnet, aber die Kosten für den Schutz eines Gebietes, und zwar von East Anglia, gegen die Auswirkungen eines Anstiegs des Meeresspiegels um 80 cm (der Schäden in Höhe von 2 300 Mio. USD anrichten würde) werden auf 800 Mio. USD veranschlagt.

### *Niederschlag*

In diesem Jahrhundert haben sich die Niederschlagsmengen und -muster verändert. Aufgrund der großen natürlichen Variabilität ist es jedoch schwierig, eindeutige Trends zu ermitteln. Im allgemeinen ist festzustellen, daß sich die Niederschläge in der Nordhälfte Europas verstärkt und im Süden verringert haben. Seit 1900 ist in Nordskandinavien ein Anstieg der Niederschlagsmenge um etwa 5 % (pro Jahrhundert), in anderen Teilen Nordeuropas um etwa 2 % (pro Jahrhundert) zu verzeichnen (IPCC, 1996b). In den südlichen Landesteilen Italiens und Griechenlands hingegen ist ein Rückgang um ca. 5 % pro Jahrhundert festzustellen. In Schottland zeigte eine Untersuchung der Aufzeichnungen

von 1757 bis 1992 signifikante Zunahmen der jährlichen Niederschlagsmenge insbesondere seit Ende der 70 Jahre dieses Jahrhunderts, während die Regenfälle im Sommer zurückgingen (Smith, 1995).

Alle Klimaveränderungsmodelle gehen von einer Erhöhung des globalen Niederschlagsmittelwerts aus, wobei die Zunahme in Europa unter dem globalen Durchschnitt liegt. Obwohl die Niederschläge einen starken direkten Einfluß auf Pflanzen haben, ist womöglich die Bodenfeuchtigkeit für das Wachstum und die Lebensfähigkeit der Pflanze von noch größerer Bedeutung. Die globale Erwärmung beeinträchtigt jedoch die Bodenfeuchte durch die gesteigerte Verdunstung sowie durch Veränderungen im Wasserabfluß, und die Modellierung dieser Prozesse ergibt tatsächlich, daß die Bodenfeuchtigkeit in Europa abnehmen kann.

#### *Hydrologie und Wasserreserven*

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts befinden sich die Gletscher in den Alpen auf dem Rückzug (Haeberli und Hoelzle 1995), was sich insbesondere auf die jahreszeitlichen Schwankungen der Strömung der Fließgewässer ausgewirkt hat. Im gleichen Zeitraum nahm der Mensch jedoch zunehmend Einfluß auf den natürlichen Wasserkreislauf, wodurch die Auswirkungen des Klimawandels verdeckt wurden. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Strömung der Fließgewässer im nördlichen Europa verstärkt (McMichael et al., 1996), und dies stimmt mit dem beobachteten Anstieg der Niederschlagsmenge überein (Dai et al., 1997).

Durch eine Veränderung des Klimas wird sich das Auftreten wasserhaushaltlicher Belastungssituationen in Gebieten Europas, die bereits jetzt hydrologische Probleme haben, verstärken. Dies betrifft die Mittelmeerregion, die Alpen, Nordskandinavien, Küstenregionen sowie Mittel- und Osteuropa (IPCC, 1977).

Aufgrund der globalen Erwärmung könnten die Europäischen Alpen in den kommenden 100 Jahren 95 % ihrer Gletschermasse verlieren (Haeberli und Hoelzle, 1995). Darüber hinaus würde sich die Schneegrenze durch jeden lokalen Temperaturanstieg von 1°C um 150 Meter nach oben verschieben. Diese Veränderungen hätten zeitliche und mengenmäßige Auswirkungen auf die Abflüsse und die Strömung der Flüsse. Daraus resultierende Veränderungen im natürlichen Wasserkreislauf lassen sich schwer abschätzen; zu ihnen zählt eine potentielle Erhöhung der Hochwasserhäufigkeit und -stärke sowie ein mögliches Absinken der Wasserqualität aufgrund des Eindringens von salzhaltigem Wasser in die küstennahen Grundwasserleiter sowie eine Verlangsamung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüsse. Am stärksten wird die Wasserqualität dort geschädigt, wo der Salzgehalt aufgrund einer übermäßigen Nutzung der Grundwasserleiter ohnehin ein Problem darstellt (IPCC, 1997).

#### *Ökosysteme, Land- und Forstwirtschaft*

Wie Ökosysteme im allgemeinen auf Veränderungen der Temperatur, der Niederschlagsmenge und Bodenfeuchtigkeit, des Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre sowie auf andere sich mit dem Klima verändernde Gegebenheiten reagieren, ist schwer vorauszusagen. Außerdem sind die Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die natürliche Flora und Fauna sowie auf die Land- und Forstwirtschaft in Europa sehr vielschichtig. Es fehlt an aussagefähigen Aufzeichnungen, um frühere Veränderungen zum Klimawandel in Beziehung setzen zu können, und alle Schätzungen sind natürlich spekulativ und mit großen Unsicherheiten behaftet.

Bei einzelnen wild lebenden Spezies ist vor allem mit einer Veränderung ihrer räumlichen Verbreitung zu rechnen (Huntley, 1991). Ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1°C ist dabei gleichbedeutend mit einer Verschiebung des Lebensraums um 200 - 300 km nach Norden bzw. um 150 - 200 m in höhere Lagen.

Ein Temperaturanstieg um 2°C über einen Zeitraum von 50 Jahren hätte in Europa eine so rasche Verschiebung der Klimazonen in Richtung Norden zur Folge, daß damit die Migrationsfähigkeit vieler Pflanzenarten überfordert wäre. Darüber hinaus müßten die Pflanzen in den Gebirgsregionen ihre Standorte in höhere Lagen verlagern, ohne daß möglicherweise ausreichend Raum zur Verfügung stünde, in dem sie sich ansiedeln könnten. Aufgrund der intensiven Landnutzung wären in vielen Teilen Europas die Migrationsmöglichkeiten eingeschränkt.

In der Land- und Forstwirtschaft wäre mit einer Reihe von Auswirkungen auf Verbreitungsgebiete, Vegetationsperioden und Produktivität zu rechnen. Infolge zunehmender klimatischer Schwankungen könnten einige Kulturen stärker durch Erscheinungen wie Spätfrost gefährdet werden. Einigen Studien

zufolge kann die globale Erwärmung in weiten Teilen Europas zu einem Anstieg der landwirtschaftlichen Produktion führen (Peris et al., 1996). Allerdings ist es auch möglich, daß einige Schädlinge und Krankheiten zunehmen (VK CCIRG, 1991).

Die potentiellen schädlichen Auswirkungen der Klimaveränderung ließen sich durch Anpassung minimieren, für die es verschiedene Wege gibt (IPCC, 1997). So könnte man die Anfälligkeit der natürlichen Flora und Fauna vermindern, indem andere auf sie einwirkende Belastungsfaktoren abgebaut werden oder ihre Migration ermöglicht wird. In der Landwirtschaft könnte eine Anpassung dadurch erfolgen, daß die Aussaattermine verändert oder Sorten gewählt werden, die länger bis zur Reife benötigen. Auch käme die Nutzung von Kulturpflanzen aus wärmeren Klimazonen in Betracht. In der Forstwirtschaft würden sich verbesserte Brandschutz-, Schädlingsbekämpfungs- und Krankheitsverhütungsmaßnahmen sowie Wiederaufforstungen anbieten.

### 2.3. Beitrag zur globalen Erwärmung und Konzentration der Treibhausgase

Der Anteil der Treibhausgase an der globalen Erwärmung und demzufolge ihre Auswirkungen auf den Meeresspiegel, die Niederschläge und Ökosysteme sind von ihrer Konzentration in der Atmosphäre, ihrer Verweilzeit in der Atmosphäre sowie von ihrer Fähigkeit zur Absorbierung der Infrarotstrahlung abhängig. Obwohl beispielsweise FCKW nur in sehr geringen Konzentrationen in der Atmosphäre vorkommen, spielen sie eine große Rolle, da ihre Verweilzeit in der Regel bei ca. 100 Jahren liegt und der Treibhauseffekt jedes Moleküls den eines Kohlendioxidmoleküls um ein Mehrtausendfaches übersteigt.

Tabelle 2.1 Treibhausgase - Quellen und ihr Anteil an der globalen Erwärmung		
Gas	Wichtigste anthropogene Quellen	Anteil (%)
CO <sub>2</sub>	Energienutzung, Entwaldung und Veränderungen der Landnutzung, Zementproduktion	65
CH <sub>4</sub>	Energieerzeugung und -nutzung, Viehzucht, Reisanbau, Abfälle, Deponien, Biomasseverbrennung, häusliches Abwasser	20
Halogenverbindungen	Industrie, Kälteerzeugung, Kunststoffschäumung, Lösungsmittel	Aerosole, 10
N <sub>2</sub> O	Überdüngung, Entwaldung, Säureproduktion, Biomasseverbrennung, Verbrennung fossiler Brennstoffe	5

Zum Vergleich des Einflusses verschiedener Gase wird oft das Treibhauspotential (GWP) bezogen auf CO<sub>2</sub> herangezogen, wobei CO<sub>2</sub> mit einem Wert von 1 angesetzt wird. GWP-Werte sind stark vom betrachteten Zeithorizont abhängig. Beispiele für GWP-Werte über einen Zeitraum von 100 Jahren sind 21 für CH<sub>4</sub>, 310 für N<sub>2</sub>O und einige Tausend für eine Reihe von Halogenverbindungen (IPCC, 1996b). Die Einheiten für Emissionen, die GWP-Werte berücksichtigen, heißen "CO<sub>2</sub>-Äquivalente".

Die derzeitigen Anteile der wichtigsten anthropogenen Treibhausgase an der globalen Erwärmung und ihre Hauptquellen (ausführlichere Beschreibung in Abschnitt 2.4) sind in Tabelle 2.1 aufgeführt.

Außer den Gasen in Tabelle 2.1 kann auch troposphärisches Ozon (O<sub>3</sub>) die globale Erwärmung verstärken. IPCC-Schätzungen zufolge steuert es derzeit weitere 16 % zum gesamten Treibhauseffekt bei, der von den übrigen derzeit emittierten wichtigen anthropogenen Treibhausgasen verursacht wird.

Aerosole, die aus kleinen Teilchen oder Tröpfchen bestehen und entweder direkt emittiert werden (primäre Aerosole) oder in der Atmosphäre aus SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Ammoniak gebildet werden (sekundäre Aerosole), können eine direkte wie auch indirekte Kühlwirkung entfalten, indem sie das Sonnenlicht streuen bzw. die Wolkeneigenschaften verändern. Die Größenordnung dieses Effekts ist nicht genau bekannt. Bei der IPCC-Modellierung wird davon ausgegangen, daß Aerosole ca. 50 % der bislang durch die bedeutendsten Treibhausgase verursachten Gesamterwärmung kompensiert haben. Im Gegensatz zu den wichtigsten Treibhausgasen haben diese Aerosole jedoch eine kurze Lebensdauer in der Atmosphäre, so daß sie sich nicht über den gesamten Planeten verteilen können. Sie wirken daher nur regional und kurzfristig und treten vorwiegend über Regionen wie Europa, den USA und China

auf. Allerdings geht der Ausstoß von  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  in Europa und damit die Entstehung sekundärer Aerosole zurück (siehe Kapitel 4, Abschnitt 4.5), so daß die kühlende Wirkung von Aerosolen in Europa weniger zum Tragen kommt als in anderen Regionen wie China.

Die große Schwankungsbreite der Lebensdauer von Treibhausgasen in der Atmosphäre bedeutet, daß sich die Zeithorizonte ihres Beitrags zur globalen Erwärmung zwischen 20 und mehreren tausend Jahren bewegen können. Ehe sich eine Emissionsminderung in einer Stabilisierung der atmosphärischen Konzentration niederschlägt, ist eine beträchtliche Zeitspanne vonnöten. Wenn sich die Klimaveränderung erst einmal manifestiert hat, bedarf es also eines langen Handlungszeitraums, um sie umzukehren.

**Abbildung 2.3  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen, 1958-1995**

Mauna Loa (Hawaii)  
Schauinsland (Deutschland)

**Quelle:** Thoning et al., 1994, Fricke & Wallasch, 1994

**Abbildung 2.4  $\text{CH}_4$ -Konzentrationen, 1983-1996**

Mauna Loa (Hawaii)  
Mace Head (Irland)

**Quelle:** Dlugokencky et al. 1993, Prinn et al. 1983, Prinn et al. 1997

**Abbildung 2.5  $\text{N}_2\text{O}$ -Konzentrationen, 1978-1996**

Point Matatula, Amerikanisch-Samoa  
Adrigole, Irland  
Mace Head, Irland

**Quelle:** Prinn et al. 1983, Prinn et al. 1990,  
Prinn et al. 1997.

Die Konzentrationen von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  in der Atmosphäre haben seit dem Beginn der Industrialisierung bedeutend zugenommen. Bei Halogenverbindungen, die in der Natur nicht vorkommen, war in den letzten Jahrzehnten ein rascher Anstieg der Konzentrationen zu verzeichnen, da diese Verbindungen sehr stark verwendet wurden (siehe Kapitel 3, Abbildung 3.4). Die Konzentrationen von Halonen, Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW), 1,1,1-Trichlorethan und Tetrachlorkohlenstoff sind im Abnehmen begriffen.

Die Kohlendioxidkonzentration, die im vorindustriellen Zeitalter ca. 280 ppmv betragen hatte, erreichte 1995 einen Wert von 358 ppmv, was einer Zunahme von 30 % entspricht, und nimmt weiter um etwa 1,5 ppmv pro Jahr zu. Abbildung 2.3 gibt die mittleren Monatskonzentrationen an, die an den Meßstellen Mauna Loa (Hawaii) und Schauinsland (Deutschland) aufgezeichnet wurden. Mauna Loa ist abgelegen und wenig von lokalen Quellen beeinflusst und eignet sich dadurch gut für die Schätzung globaler Durchschnittskonzentrationen. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind auf den  $\text{CO}_2$ -Verbrauch der Pflanzen während der Vegetationsperiode zurückzuführen.

Die mittlere globale Methankonzentration lag 1995 bei ca. 1720 ppbv (Teile je Milliarde Volumenteile), was etwa dem Zweieinhalbfachen der vorindustriellen Konzentration von rund 700 ppbv entsprach, und wächst derzeit um etwa 8 ppbv pro Jahr. Abbildung 2.4 zeigt die Ergebnisse von Messungen in Mauna Loa und an einer Meßstelle in Irland. Die höheren Konzentrationen in Irland deuten auf größere regionale Emissionen hin.

1995 wurde die durchschnittliche Konzentration von Distickstoffoxid in der Atmosphäre auf ca. 312 ppbv geschätzt und lag damit 15 % über dem vorindustriellen Stand. Die derzeitige Wachstumsrate beträgt etwa 0,5 ppbv pro Jahr. Abbildung 2.5 zeigt Ergebnisse von Messungen in Point Matatula, Amerikanisch-Samoa und Irland.

*Verwandte Substanzen und Auswirkungen auf andere Problembereiche*

Einige Treibhausgase und andere den Treibhauseffekt fördernde Substanzen können sich auf andere Weise als durch globale Erwärmung auf die Umwelt auswirken. Viele dieser Wirkungen werden in anderen Kapiteln beschrieben und sollen deshalb an dieser Stelle nicht weiter behandelt werden. Da diese Probleme jedoch unter Umständen miteinander im Zusammenhang stehen, können Maßnahmen zur Behebung eines Effekts wiederum positive oder negative Auswirkungen haben, zum Beispiel:

- Die Reduktion der FCKW-Emissionen zur Verringerung des Abbaus der Ozonschicht in der Stratosphäre mindert auch die durch diese Gase bewirkte globale Erwärmung (aber nicht die durch den Ozonabbau in der Stratosphäre verursachte indirekte Abkühlung).
- Die Senkung der Methanemissionen zur Verringerung der globalen Erwärmung hat auch die Reduktion der allgemeinen Hintergrundwerte des troposphärischen Ozons zur Folge.

**Abbildung 2.6 Globale CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Ozeanien  
 Nordamerika  
 Naher Osten  
 Ferner Osten  
 Asiatische Länder mit Zentralverwaltungswirtschaft  
 Mittel- und Südamerika  
 Afrika  
 Osteuropa  
 Westeuropa

**Quelle:** Marland & Boden, 1997

- Durch die Reduktion der Emissionen von SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Ammoniak verringert sich die Säurebelastung. Als Nebenwirkung würde dabei jedoch auch die Produktion von Sulfat- und Nitrataerosolen zurückgehen, die regional eine Kühlung bewirken.
- Mit der Reduktion der Emission von Rauchpartikeln (Ruß), die bei der Verbrennung anfallen und zum Treibhauseffekt beitragen, verringert sich sowohl die globale Erwärmung als auch die Luftverschmutzung in den Städten.

**2.4. Entwicklung der Treibhausgasemissionen**

*Kohlendioxid*

Die größte Quelle der vom Menschen verursachten Kohlendioxidemissionen ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Stromerzeugung, zur direkten Wärmeerzeugung sowie im Verkehrssektor und in der Industrie. Als weitere wichtige Quellen sind Veränderungen der Landnutzung und die Zementproduktion zu nennen. Natürliche Systeme emittieren und binden große Mengen CO<sub>2</sub> im Rahmen des natürlichen Kohlenstoffkreislaufes, durch die Photosynthese und die Atmung. Diese Prozesse befinden sich normalerweise im Gleichgewicht und bewirken somit keine Nettoemission. Durch Eingriffe des Menschen können diese Systeme gestört werden und eine Nettoemission (z. B. durch Zerstörung eines Waldes) oder eine Nettoabsorption oder Senke herbeiführen (indem man beispielsweise einen neuen Wald anlegt).

Global gesehen bilden die Verbrennung fossiler Brennstoffe (77 %), Industrieprozesse wie die Zementproduktion (2 %) sowie Veränderungen der Landnutzung (21 %) die Hauptquellen für die Kohlendioxidemissionen. In Europa ergibt sich ein anderes Bild. Auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe entfallen 98 % und auf die Industrieprozesse ebenfalls 2 %, während die Veränderung der Landnutzung eher als Senke anzusehen ist, denn möglicherweise ca. 13 % des in Europa emittierten CO<sub>2</sub> werden gebunden. Die Schätzungen der Emissionen aufgrund von Veränderungen der Landnutzung sind mit weit größeren Unsicherheiten behaftet als bei anderen Quellen. Abbildung 2.6 gibt einen Überblick über die globalen Emissionen (wobei nur die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Zementherstellung berücksichtigt werden) seit 1950. Derzeit entfallen auf Europa 29 % des weltweit anfallenden verbrennungs- und industriebedingten anthropogenen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

Abbildung 2.7 verdeutlicht die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen in Europa seit 1980. Der signifikante Rückgang in Mittel- und Osteuropa und den NUS (20 % zwischen 1990 und 1995) ist auf die Umstrukturierung der Volkswirtschaften dieser Länder zurückzuführen.

Die Hauptursachen für die 3%ige Abnahme der Emissionen in Westeuropa zwischen 1990 und 1995 lagen in der Verringerung der Wachstumsraten in Industrie und Wirtschaft, der Umstrukturierung der Wirtschaft in Deutschland sowie der Umstellung von Kohle auf Erdgas in der Stromerzeugung.

**Abbildung 2.7 CO<sub>2</sub>-Emissionen in Europa, 1980-1994**

in Mio. t

Neue Unabhängige Staaten

Mittel- und Osteuropa

Westeuropa

**Quelle:** EUA-ETC/AE, 1997

**Abbildung 2.8 Pro-Kopf-Emissionen von CO<sub>2</sub> im Jahre 1994 in Europa**

Westeuropa

Mittel- und Osteuropa

Neue Unabhängige Staaten

Luxemburg

Dänemark

Belgien

Finnland

Niederlande

Deutschland

Vereinigtes Königreich

Irland

Norwegen

Island

Griechenland

Österreich

Liechtenstein

Schweden

Italien

Frankreich

Schweiz

Spanien

Portugal

Estland

Malta

Tschechische Republik

Polen

Bulgarien

Slowakische Republik

Slowenien

Ungarn

Litauen

Lettland

Rumänien

Ehem. jug. Rep. Mazedonien

Kroatien

Türkei

Bosnien-Herzegowina

Albanien

Russische Föderation

Ukraine

Belarus

Aserbaidshon  
Moldau  
Georgien  
Armenien

Kilotonnen je Einwohner

**Quelle:** EUA-ETC/AE, 1997

Abbildung 2.8 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf der Bevölkerung. In den drei Ländergruppen sind recht ähnliche Schwankungen zwischen den Ländern festzustellen (Luxemburg kommt auf hohe Pro-Kopf-Werte, weil das Land bei geringer Einwohnerzahl eine bedeutende Stahlindustrie besitzt und Brennstoffe verhältnismäßig billig sind.)

Rückschlüsse auf die voraussichtliche künftige Entwicklung der Emissionen lassen sich aus Vergleichen ziehen, die Unterschiede in der Wirtschaftskraft der Länder berücksichtigen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einheit BIP für 1994 sind Abbildung 2.9 zu entnehmen. Außer in Teilen des ehemaligen Jugoslawiens und in Albanien sind die Emissionen je Einheit BIP in Mittel- und Osteuropa (3,3 t/USD) und den Neuen Unabhängigen Staaten (2,4 t/USD) beträchtlich höher als in Westeuropa (0,55 t/USD). Dies spiegelt die ineffiziente Energienutzung und die Dominanz der energieintensiven Schwerindustrie in Osteuropa wider.

In Westeuropa war seit 1990 die Energieversorgung, insbesondere die Elektrizitätswirtschaft, der Sektor mit den stärksten Emissionen (Abbildung 2.10). Der Ausstoß der Industrie ging zurück, während im Verkehrswesen ein Anstieg zu verzeichnen war, so daß sich die Werte der beiden Wirtschaftsbereiche weitgehend angeglichen haben. Die Hauptunterschiede zwischen Westeuropa und Mittel- und Osteuropa sind der geringere Anteil des Verkehrs und der größere Beitrag der Industrie und des Energiesektors in MOE. Zwischen 1990 und 1995 gingen in MOE die Emissionen in allen Sektoren zurück. Es ist jedoch zu erwarten, daß der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr ähnlich steigen wird wie in Westeuropa.

#### *Methan*

Die anthropogenen Methanemissionen belaufen sich weltweit auf 375 Mio. Tonnen pro Jahr, wovon etwa 27 % aus dem Einsatz fossiler Brennstoffe herrühren. Europa ist daran zu etwa 11 % beteiligt. Zurückzuführen sind die Emissionen vor allem auf Lecks in Erdgasleitungen, den Kohlenbergbau und die Landwirtschaft und dabei insbesondere auf die Haltung von Wiederkäuern und den Reisanbau. Natürliche Quellen wie Feuchtgebiete spielen ebenfalls eine bedeutende Rolle und mögen einen Anteil von 20 % an den globalen Emissionen haben (IPCC, 1996b).

Abbildung 2.11 zeigt die Entwicklung der Emissionen in Europa seit 1980. Die Angaben sind mit größeren Unsicherheiten behaftet als bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen, da sich die wichtigsten landwirtschaftlichen Quellen schlechter quantifizieren lassen. Ebenso sind die Werte für Osteuropa weniger gesichert als für Westeuropa, und die Daten für die Zeit vor 1990 sind nicht mit späteren Angaben kompatibel.

#### **Abbildung 2.9 CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einheit BIP im Jahre 1994**

Westeuropa  
Mittel- und Osteuropa  
Neue Unabhängige Staaten

Griechenland  
Luxemburg  
Portugal  
Irland  
Belgien  
Niederlande  
Vereinigtes Königreich  
Deutschland  
Finnland  
Spanien  
Dänemark  
Italien

Island  
Österreich  
Norwegen  
Frankreich  
Schweden  
Schweiz  
Liechtenstein

Estland  
Polen  
Tschechische Republik  
Bulgarien  
Rumänien  
Slowakische Republik  
Litauen  
Ehem. jug. Rep. Mazedonien  
Ungarn  
Malta  
Lettland  
Kroatien  
Türkei  
Slowenien  
Bosnien-Herzegowina  
Albanien

Aserbaidshan  
Ukraine  
Russische Föderation  
Armenien  
Belarus  
Georgien

kg pro USD

**Anmerkung:** in USD zu Werten von 1994

**Quelle:** EUA-ETC/AE, 1997

### Abbildung 2.10 CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren

Westeuropa  
MOE

Sonstige  
Haushalte  
Verkehrssektor  
Industrie  
Energiesektor

0,5 %

Quelle: EUA-ETC/AE, 1997

Abbildung 2.12 verdeutlicht, wie sich der Anteil der verschiedenen Sektoren an den Methanemissionen zwischen 1980 und 1995 verändert hat. Insgesamt ist festzustellen, daß sich die Relationen zwischen den Sektoren seit 1980 kaum verschoben haben. In der Energieerzeugung sind die Emissionen in erster Linie auf den Kohlenbergbau und auf Lecks in Erdgasleitungen zurückzuführen. Die hier dem Industriesektor zugerechnete Abfallwirtschaft ist aufgrund des hohen Methangehalts von Deponiegas eine bedeutende Entstehungsquelle. Große Mengen fallen auch in der Landwirtschaft an, größtenteils infolge der Rinderhaltung.

#### *Distickstoffoxid*

Als Folge menschlichen Handelns werden weltweit pro Jahr 3 bis 8 Mio. t N<sub>2</sub>O emittiert. Die große Unsicherheitsspanne ergibt sich dabei aus unserem lückenhaften Wissen über die beteiligten Prozesse und ihre regionalen Unterschiede. Global betrachtet werden die Emissionen überwiegend durch den Düngereinsatz auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verursacht. Des weiteren sind einige spezielle Industrieverfahren stark an den Emissionen beteiligt, unter anderem die Adipinsäureherstellung (Bestandteil der Nylonproduktion) und die Salpetersäuregewinnung (die in einigen Ländern eine bedeutende Rolle spielen kann, insbesondere in Europa). Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen hingegen nur geringe N<sub>2</sub>O-Emissionen.

Abbildung 2.13 veranschaulicht die Entwicklung der Emissionen in Europa seit 1980. Wie beim Methan sind die Angaben auch hier weniger gesichert als beim CO<sub>2</sub>-Ausstoß, da der Beitrag der größeren landwirtschaftlichen Quellen sich nicht so leicht mengenmäßig bestimmen läßt.

In Mittel- und Osteuropa fällt heute in der Landwirtschaft weniger Distickstoffoxid an, weil sich der Düngemitelesinsatz verringert hat (Abbildung 2.14). Im geringeren Maße haben auch die industriebedingten Emissionen vor allem aus der Salpetersäure- und Nylonproduktion aufgrund der wirtschaftlichen Umgestaltung abgenommen. In Westeuropa sind die Emissionen der Industrie leicht gesunken, während der Ausstoß der Landwirtschaft stabil geblieben ist. Zugenommen haben in Westeuropa allerdings die straßenverkehrsbedingten Emissionen. Bei dem erhöhten Verkehrsaufkommen ist der Anstieg vor allem auf die Ausstattung der Fahrzeuge mit Drei-Wege-Katalysatoren zurückzuführen. Diese reduzieren zwar erheblich die Freisetzung anderer Stickstoffoxide sowie von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen, verursachen jedoch eine geringe Emission von Distickstoffoxid.

#### *Halogenierte Gase*

Die Entwicklung bei den halogenierten Gasen wie FCKW wird in Kapitel 3 behandelt. Während der Ausstoß von FCKW rasch zurückgeht, weil deren Verwendung entsprechend den Bestimmungen des Montrealer Protokolls ausläuft (siehe Kapitel 3), steigt die Emission ihrer Ersatzstoffe, insbesondere von H-FCKW und H-FKW, die beide ebenfalls Treibhausgase sind. Andere potentiell wichtige Treibhausgase wie Perfluorkohlenwasserstoffe (z. B. CF<sub>4</sub> und C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) fallen nur in kleinen Mengen an und haben daher nur geringe Auswirkungen auf die globale Erwärmung. Die Angaben über die Emission dieser Gase sind so begrenzt, daß sich noch keine Trends ableiten lassen, aber aufgrund ihrer langen Lebensdauer in der Atmosphäre und ihres großen Treibhauspotentials dürften sie stärkere Beachtung finden, wenn die Emissionen weiter zunehmen. Wie sich die Konzentrationen einiger dieser Gase entwickelt haben, ist Abbildung 3.4 zu entnehmen.

**Abbildung 2.11 CH<sub>4</sub>-Emissionen in Europa, 1980-1995**

Neue Unabhängige Staaten  
Mittel- und Osteuropa  
Westeuropa

Mio. Tonnen

Quelle: EUA-ETC/AE, 1997

**Abbildung 2.12 CH<sub>4</sub>-Emissionen nach Sektoren**

Sonstige  
Haushalte  
Landwirtschaft  
Verkehrssektor  
Industrie  
Energiesektor

Westeuropa

MOE

0,5 %

Quelle: EUA-ETC/AE, 1997

**Zusammenfassung der Treibhausgasemissionen in Europa**

Abbildung 2.15 veranschaulicht den Ausstoß von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O in Westeuropa und Mittel- und Osteuropa anhand von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten sowohl in absoluten Werten als auch auf Pro-Kopf-Basis. Dabei zeigt sich, daß die Gesamtemissionen in MOE zwar geringer sind als in Westeuropa, der Ausstoß je Einwohner jedoch ähnliche Werte aufweist.

Alles in allem machten die europäischen Emissionen 1994 etwa 30 % (Unsicherheitsbereich 24-38 %) des gesamten anthropogenen Anteils an der globalen Erwärmung aus, wobei ein Zeithorizont von 100 Jahren für die Berechnung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten zugrundegelegt wurde.

**2.5. Triebkräfte**

Energienutzung, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Industrieprozesse sind Hauptversursacher der Klimaveränderung. Daher gilt es vor allem, die Kohlendioxidkonzentrationen zu stabilisieren. Der Schlüssel dafür liegt in einer verringerten Verbrennung fossiler Brennstoffe. Die Methanemissionen lassen sich wahrscheinlich durch solche Maßnahmen wie verstärktes Abfallrecycling (anstelle der Ablagerung auf Deponien) und die Vermeidung von Lecks in Rohrleitungen senken. Zwar läuft die Verwendung von FCKW aus, dafür ist aber der Einsatz ozonfreundlicher Ersatzstoffe, von denen einige ebenfalls Treibhausgase sind, auf dem Vormarsch (siehe Kapitel 3, Abschnitt 3.4). Da die Entwicklungen beim Einsatz fossiler Brennstoffe für die Frage des Klimawandels eine zentrale Rolle spielen, liegt der Schwerpunkt in diesem Kapitel auf dem Thema Energie und Energienutzung. Diesbezügliche Informationen über den Verkehr sind in Kapitel 4, Abschnitt 4.6 zu finden.

**2.5.1 Energienutzung - das entscheidende Moment**

Der weltweite Energieverbrauch ist über weite Strecken dieses Jahrhunderts in beispiellosem Tempo gestiegen, und trotz wachsender Beiträge erneuerbarer und nuklearer Energiequellen in den letzten Jahrzehnten werden noch immer 90 % des weltweiten Energiebedarfs mit fossilen Energieträgern gedeckt (UNEP, 1994). Seit 1990 hat sich der Zuwachs der globalen Energienachfrage vor allem aufgrund des rückläufigen Energieverbrauchs in Osteuropa verlangsamt.

Abbildung 2.16 zeigt, daß der Endenergieverbrauch (von den Verbrauchern verwendete Energie ohne Produktions- und Verteilungsverluste) in Westeuropa allmählich zugenommen hat, wobei zwischen

1985 und 1995 ein Gesamtanstieg von 10 % zu verzeichnen war. Im Zeitraum 1990-1995 hingegen ging der Energieverbrauch in MOE um 18 % und in den NUS um 26 % zurück. Der Gesamtenergieverbrauch in Europa sank in dieser Periode um 11 %.

Aus Abbildung 2.17 geht hervor, wie sich der Endenergieverbrauch in Europa in verschiedenen Sektoren zwischen 1980 und 1995 verändert hat. Der größte Sprung war in Westeuropa mit einem Anstieg von 44 % im Verkehrssektor zu verzeichnen. Im gleichen Zeitraum ging die Energienutzung in der Industrie um 8 % zurück und nahm in sonstigen Bereichen um 7 % zu. Hierin widerspiegelt sich einerseits der Zuwachs des Straßenverkehrs und andererseits die Abkehr von der energieintensiven Schwerindustrie.

In Mittel- und Osteuropa sank der Energieverbrauch seit 1990 um 3 % im Verkehrssektor, um 28 % in der Industrie und um 15 % in sonstigen Bereichen. Noch auffälliger waren die Veränderungen in den NUS, in denen Rückgänge von 48 % (Verkehr), 38 % (Industrie) bzw. 30 % (sonstige) zu verzeichnen waren. Zwar sind einige scheinbare Veränderungen in den NUS möglicherweise auf Definitionsunterschiede zurückzuführen, aber der erhebliche Rückgang des Gesamtenergieverbrauchs in diesen Ländern ist real und Ausdruck des wirtschaftlichen Wandels seit 1990.

**Abbildung 2.13 N<sub>2</sub>O-Emissionen in Europa, 1990 - 1994**

Mio. Tonnen  
Mittel- und Osteuropa  
Westeuropa

**Anmerkung:** Westeuropa ohne Spanien, MOE nur Bulgarien, Kroatien, Tschechische Republik, Ungarn, Rumänien und Slowakei

**Quelle:** EUA-ETC/AE, 1997

**Abbildung 2.14 N<sub>2</sub>O-Emissionen**

Sonstige  
Haushalte  
Landwirtschaft  
Verkehrssektor  
Industrie  
Energiesektor  
Westeuropa  
MOE

**Quelle:** EUA-ETC/AE, 1997

Abbildung 2.18 veranschaulicht die Veränderungen des Anteils verschiedener Energieträger an der Primärenergieversorgung für sämtliche Einsatzbereiche einschließlich der Stromerzeugung. Insgesamt zeigte sich ein Trend zur Umstellung von Kohle und Öl auf Erdgas, Kernkraft und erneuerbare Energieformen. Erdgas setzt weniger Kohlendioxid je erzeugte Einheit Energie frei als Kohle bzw. Öl, während beim Einsatz von Kernenergie und erneuerbaren Energieträgern gar kein CO<sub>2</sub> anfällt. Aufgrund dieses Wandels sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen also geringer geworden. Die deutlichste und am stärksten klimarelevante Veränderung ist die Verminderung des Kohle- und Ölanteils an der Primärenergieversorgung in Westeuropa im Zeitraum 1980-1995, und zwar bei Kohle von 24 % auf 22 % und bei Öl von 52 % auf 44 %. Zwischen 1980 und 1994 war in Westeuropa und den NUS eine Verdreifachung des Anteils der Kernenergie und in Mittel- und Osteuropa eine Versechsfachung zu verzeichnen. In Belgien, der Schweiz, Litauen, Bulgarien und Slowenien entfallen auf die Kernenergie mehr als 20 % des gesamten (Brutto)-Energieverbrauchs und in Frankreich und Schweden mehr als 40 %.

**2.5.2 Energiepreise**

Die Energienachfrage, die relativen Anteile der einzelnen Energieträger sowie die Investitionen für Energieeinsparungen und verbesserte Nutzung der Energie sind im hohen Maße vom Preis abhängig. Zwischen Energieverbrauch und Energiepreisen besteht in Industrieländern eine eindeutig negative Korrelation. In Abbildung 2.19 ist die Bewegung der Energiepreise seit 1978 dargestellt. Der Rohölpreis lässt sich gut stellvertretend für die Energiepreise im allgemeinen heranziehen, da der Preis

anderer Energieträger wie Erdgas, Mineralölzeugnisse und Kohle in der Regel in Abhängigkeit vom Ölpreis festgelegt wird. Zudem wird der Energieverbrauch von Faktoren wie der internationalen Wettbewerbsfähigkeit beeinflusst, die eine Senkung der Produktionskosten in der Industrie erforderlich macht.

### 2.5.3 Energieeffizienz

Sind die Preise niedrig, bestehen weniger Anreize zur verbesserten Ausnutzung der Energie, selbst wenn einfache Möglichkeiten dafür bestehen. Weder auf nationaler noch auf europäischer Ebene gibt es einen einfachen Indikator für die Effizienz der Energienutzung, jedoch wird die Energieintensität (Energieverbrauch je Einheit BIP) zur Effizienz ihrer Nutzung in Beziehung gesetzt, obwohl sie auch stark von Gegebenheiten wie der Substitution von Energie durch den Faktor Arbeit und der Struktur der Wirtschaft abhängig ist.

Aus Abbildung 2.20 ist ablesbar, wie sich die Energieintensität in Europa seit 1986 verändert hat. In Westeuropa ist der allmähliche Rückgang der Energieintensität um durchschnittlich 1 % pro Jahr darauf zurückzuführen, daß der Energieverbrauch leicht (siehe Abbildung 2.16), das BIP aber etwas stärker zunimmt. Im genannten Zeitraum kam es zu einer leichten Erhöhung der Effizienz in der Energienutzung und vollzogen sich strukturelle Veränderungen von äußerst energieintensiven traditionellen Industriezweigen zu weniger energieintensiven Dienstleistungsbranchen. In jüngster Zeit gibt es jedoch Anzeichen dafür, daß sich der Rückgang der Energieintensität verlangsamt. Viele der kosteneffektivsten Maßnahmen zur besseren Nutzung der Energie wurden bereits durchgeführt (OECD/IEA, 1996 und 1997), und in den meisten Ländern ist mittlerweile eine größere wirtschaftliche Umorientierung von energieintensiven Branchen auf Dienstleistungsbereiche erfolgt.

#### Abbildung 2.15 Europäische Emissionen von Treibhausgasen angegeben in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, 1994

Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente  
Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Einwohner

Westeuropa  
MOE

Quelle: EUA-ETC/AE, 1997

#### Abbildung 2.16 Energieverbrauch in Europa, 1980-1995

Mio. t RÖE

Westeuropa  
NUS  
MOE

Quelle: Eurostat, IEA

Aus einer Reihe von Gründen ist die Energieintensität in Osteuropa höher. Dazu zählen unter anderem eine verhältnismäßig ineffiziente Energieerzeugung, ein hoher Energieeinsatz aufgrund der in der Vergangenheit niedrigen Energiepreise, eine generell geringe Wertschöpfung in der Volkswirtschaft sowie ein hoher Anteil an energieintensiven Industriezweigen. Während die Energieintensität in Mittel- und Osteuropa zurückgeht, stieg sie in den NUS etwa bis 1992 an und blieb dann mehr oder weniger konstant. Die Differenz zwischen MOE und den NUS ist auf das stärkere Absinken des BIP in den NUS seit 1990 zurückzuführen. Zwar ist der Gesamtenergieverbrauch je Einwohner mit Westeuropa vergleichbar, aber das BIP ist weit niedriger. Infolgedessen ist die Energieintensität in Mittel- und Osteuropa etwa dreimal so hoch und in den NUS sechsmal so hoch wie in Westeuropa. Die Unterschiede zwischen den Ländern sind in den MOEL und den NUS weit größer als in Westeuropa. In Osteuropa besteht also noch breiter Raum für weitere Verringerungen der Energieintensität.

Es gibt viele Möglichkeiten zur Verbesserung der Energienutzung durch technische Entwicklungen wie zum Beispiel verbrauchsarme Kraftfahrzeuge und Haushaltsgeräte sowie eine bessere Wärmedämmung von Gebäuden. Solche Verbesserungen führen aber nicht unbedingt zu Gesamtenergieeinsparungen. Beispielsweise kann eine Steigerung der Effizienz von Kraftfahrzeugen (gemessen in km/Liter)

dadurch wieder zunichte gemacht werden, daß die Autos stärker genutzt werden, ja sie kann sogar zu einer stärkeren Nutzung verleiten, weil die Kosten pro Kilometer sinken.

Obwohl die Energieintensität in Westeuropa im allgemeinen abnimmt, wird dies durch Entwicklungen in einigen Sektoren mit hohem Energieverbrauch, insbesondere in den folgenden drei Schlüsselbereichen, wieder aufgewogen (IEA, 1997). Für Mittel- und Osteuropa und die NUS liegen nur wenige vergleichbare Daten vor.

#### *PKW*

Seit 1980 ist die Zahl der Personenkraftwagen in Europa (ohne die Russischen Föderation) um etwa 40 % gestiegen. In diesem Zeitraum ist der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch bei ca. 8 bis 10 Liter Benzinäquivalent je 100 km verblieben. Allerdings war ein geringer Gesamtanstieg der pro PKW jährlich gefahrenen Kilometer zu verzeichnen. Festzustellen ist, daß die Menschen mehr reisen und damit zu einer Verstärkung der Treibhausgasemissionen beitragen, und daß sie zudem von energieeffizienteren Fortbewegungsarten (Gehen, Radfahren, Bus- und Bahnfahrt) auf den PKW umsteigen. Die Folge davon ist, daß sich in allen IEA-Ländern der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des inländischen Personenverkehrs verstärkt und in Europa der Energieverbrauch durch PKW seit 1973 mehr als verdoppelt hat. Somit dürfte der Personenverkehr in den letzten zwanzig Jahren an Energieeffizienz eingebüßt haben.

#### **Abbildung 2.17 Energieverbrauch in Europa nach Sektoren, 1980-1995**

Energieverbrauch in der Industrie  
Energieverbrauch im Verkehrssektor  
Energieverbrauch in sonstigen Bereichen

Mio. t RÖE

Westeuropa  
NUS  
MOE

**Quelle:** Eurostat, IEA

#### *Haushalte*

In Europa nimmt die Wohnfläche je Einwohner zu, was sich in der Größe der Häuser niederschlägt. Eine steigende Anzahl Wohnungen ist mit Zentralheizungen versehen, die einen großen Anteil am Energieverbrauch der Haushalte haben (Abbildung 2.21). Die Nachfrage nach Zentralheizungen dürfte langsam gesättigt sein. Deutlich gestiegen ist der Ausstattungsgrad mit elektrischen Geräten, so bei Geschirrspülmaschinen von beinahe null auf durchschnittlich ein Viertel aller Haushalte.

Die Haushalte standen stärker im Blickpunkt von Energiesparmaßnahmen als andere Bereiche. In den meisten Ländern war im betreffenden Zeitraum bei der Raumheizung ein Rückgang des Energieaufwands je Flächeneinheit zu verzeichnen, wozu unter anderem höherer Energiepreise, eine verbesserte Wärmedämmung vorhandener Häuser und strengere Auflagen für neue Gebäude beigetragen haben. Zwar werden mehr Elektrogeräte genutzt, doch haben diese in der Regel einen höheren Wirkungsgrad..

Insgesamt sieht es jedoch so aus, als ob die in westeuropäischen Staaten erzielten Verbesserungen im Bereich Technologie- und Energienutzung durch den gestiegenen Ausstattungsgrad der Häuser mit Zentralheizung und Elektrogeräten wieder zunichte gemacht wurden.

#### *Verarbeitendes Gewerbe*

In Europa verbrauchte das verarbeitende Gewerbe einst mehr Energie als jeder andere Bereich, doch ist sein Anteil stetig zurückgegangen. Zwar ist die Produktion des verarbeitenden Gewerbes in den meisten europäischen Ländern gestiegen, doch bestehen zwischen den Ländern und Industriezweigen große Unterschiede (siehe Abschnitt 1.3.2). Abbildung 2.22 zeigt, daß die Energieintensität in den meisten Branchen des verarbeitenden Gewerbes Westeuropas gesunken ist. Unter dem Strich erbrachten die Erhöhung der Produktionsleistung und der Rückgang der Energieintensität eine geringe Abnahme des Gesamtenergieverbrauchs.

## 2.6. Konzepte und politische Ziele

### 2.6.1. Politische Ziele

Die 1992 auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio Janeiro geäußerten Befürchtungen über die möglichen Folgen des Klimawandels veranlaßten Regierungen weltweit zur Annahme des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC). Mehr als 160 Länder bzw. Gruppen von Ländern haben inzwischen die Klimakonvention ratifiziert, darunter die Europäische Gemeinschaft und alle 15 Mitgliedstaaten sowie die meisten anderen europäischen Staaten. Die (in Anlage I der Klimakonvention aufgeführten) Industriestaaten verpflichteten sich, darauf hinzuwirken, daß die Emissionen der nicht durch das Montrealer Protokoll geregelten Treibhausgase bis zum Jahr 2000 auf den Stand von 1990 zurückgeführt werden.

#### Abbildung 2.18 Primärenergieversorgung in Europa nach Energieträgern, 1980, 1990 und 1995

Kohle

Rohöl

Erdgas

Kernenergie

Wasserkraft

Sonstige

Westeuropa

Mittel- und Osteuropa

Gesamt = Mio. t RÖE

Quelle: Eurostat, IEA

#### Abbildung 2.19 OECD - Europäische Indizes realer Energiepreise für Endverbraucher

Mineralölerzeugnisse

Erdgas

Rohöl

Kohle

Anmerkung: Preise einschließlich Steuern und abzüglich Rabatten

Quelle: OECD

Die dritte Tagung der Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) fand im Dezember 1997 in Kyoto (Japan) statt. Im März 1997 schlug der Rat der Umweltminister der EU als Verhandlungsposition im Vorfeld von Kyoto vor, daß entwickelte Länder die Treibhausgasemissionen bis 2010 auf einen 15 % unter dem Stand von 1990 liegenden Wert absenken sollten (Europäische Kommission, 1997a und 1997b). Dabei geht es um die kombinierte Minderung des Ausstoßes der wichtigsten Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotentials im Verlaufe von 100 Jahren. Einigen EU-Mitgliedstaaten wäre es gestattet, ihre Emissionen zu erhöhen, weil dies durch Verringerungen in anderen Mitgliedstaaten wettgemacht würde.

In Kyoto vereinbarten die Industrieländer (Anlage I der Klimarahmenkonvention), ihre Emissionen von sechs Treibhausgasen, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H-FKW, FKW und SF<sub>6</sub>, um insgesamt 5 % gegenüber dem Stand von 1990 zu senken (UNFCCC, 1997b). Erreicht werden sollen die anhand von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten berechneten zusammengenommenen Emissionsreduktionen dieser sechs Treibhausgase im Zeitraum 2008 bis 2012. Die Vertragsparteien sagten unterschiedliche Reduktionen zu (Tabelle 2.2). So verpflichteten sich die EU-Staaten insgesamt zur Verringerung der Emissionen um 8 % und die mittel- und osteuropäischen Staaten zu Reduktionen um 5 bis 8 %, während die Russische Föderation und die Ukraine die Stabilisierung ihrer Emissionen auf dem Stand von 1990 zusagten. Jede Vertragspartei ist aufgefordert, bis 2005 nachweisliche Erfolge auf dem Weg dorthin zu erreichen.

Auf künftigen UNFCCC-Konferenzen, insbesondere im November 1998 in Buenos Aires, werden einige wichtige Fragen ausführlicher zu behandeln sein:

- Definition und Überprüfung von Daten über Kohlendioxidsenken und -speicher. Nettoveränderungen bei diesen Senken und Speichern könnten auf die Emissionsreduktionsverpflichtungen angerechnet werden, wenn sie von direkten vom Menschen bewirkten Veränderungen bei der Landnutzung und von forstwirtschaftlichen Tätigkeiten stammen, die sich auf die Aufforstung, Wiederaufforstung und Abholzung seit 1990 beschränken;
- Richtlinien zur Überprüfung, Berichterstattung und Anrechenbarkeit für den Handel mit Emissionsrechten und die gemeinsame Umsetzung (Joint Implementation) unter Anlage-I-Ländern;
- Festlegung von Definitionen sowie organisatorischen und finanziellen Mechanismen für den vorgeschlagenen "Mechanismus für eine saubere Entwicklung" zur Unterstützung von nicht in Anlage I aufgeführten Vertragsparteien bei ihren Bemühungen, eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen, einschließlich der Möglichkeit, daß Anlage-I-Ländern Emissionsminderungen, die sie bei Projekten in nicht zu dieser Gruppe zählenden Ländern erreicht haben, auf ihre Reduktionsziele gutgeschrieben werden.

**Abbildung 2.20 Energieintensität, 1986-1995**

t RÖE/Mio. USD

NUS

MOE

Westeuropa

**Quelle:** Eurostat, IEA

**Abbildung 2.21 Anteil der Häuser mit Zentralheizung**

Schweden

Dänemark

Finnland

Deutschland

Frankreich

Vereinigtes Königreich

Italien

**Quelle:** Eurostat, IEA

**Abbildung 2.22 Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe, 1971 - 1991**

MJ/USD (1980)

Eisenmetalle

Zellstoff und Papier

Nichteisenmetalle

Steine und Erden

Chemikalien

Nahrungsmittel und Getränke

Sonstiges verarbeitendes Gewerbe

**Quelle:** Nationale Energie- und Industriestatistiken, Analyse durch Lawrence Berkeley National Laboratory, für Dänemark, Finnland, Frankreich, alte deutsche Bundesländer, Italien, Schweden und Vereinigtes Königreich.

**2.6.2. Konzepte und Maßnahmen**

Die europäischen Konzepte und Maßnahmen auf EU- und nationaler Ebene sind in Kasten 2.1 zusammengefaßt.

Eine der vorgeschlagenen Schlüsselmaßnahmen auf Gemeinschaftsebene, eine Energie-/CO<sub>2</sub>-Steuer, wurde noch nicht verabschiedet, doch einige Länder (Dänemark, Finnland, Schweden, Österreich, die Niederlande und Norwegen) haben bereits derartige Steuern eingeführt. Eine jüngst durchgeführte Studie über die Effektivität von Umweltsteuern (EUA, 1996) kam zu dem Schluß, daß im

Zusammenhang mit den überprüften CO<sub>2</sub>-Steuern (Schweden und Norwegen) einige Vorteile zutage traten, unter anderem Emissionsminderungen in Norwegen, daß aber diesbezüglich noch weitere und detailliertere Untersuchungen erforderlich sind. Generell sind die Energiepreise so niedrig, daß kein Anreiz zur Einsparung von Energie bei der PKW-Nutzung und Wohnraumheizung entsteht.

## 2.7. Fortschritte und Perspektiven

### 2.7.1. Fortschritte bis zum Jahr 2000

Wie in Abschnitt 2.4 angegeben, gingen die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Westeuropa zwischen 1990 und 1995 vor allem aufgrund einer vorübergehenden Abschwächung des Wachstums, der Umstrukturierung der deutschen Industrie und des Aufbaus von Erdgaskraftwerken um ca. 3 % zurück. Es ist jedoch nicht sicher, ob die Zielsetzung des Fünften Umweltaktionsprogramms erreicht werden kann, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2000 auf dem Stand von 1990 zu stabilisieren, wie es EU-Studien zu entnehmen ist (Europäische Kommission, 1996a und 1996b). Dies ließe sich nur mit Erfolg verwirklichen, wenn die Mitgliedstaaten das Maximum der angeführten nationalen Maßnahmen durchführen. Viele dieser Maßnahmen werden sich erst nach dem Jahr 2000 auswirken. Wenn die Energiepreise niedrig bleiben und das BIP schneller wächst als derzeit angenommen, könnten die Emissionen im Jahr 2000 den Stand von 1990 um bis zu 5 % überschreiten.

Im Gegensatz zu Westeuropa waren in Osteuropa seit 1990 bedeutende Abnahmen der Emissionen von Treibhausgasen zu verzeichnen. Selbst bis 2010 dürfte der Energieverbrauch nicht über den Stand von 1990 steigen (UNECE, 1996). Außerdem vollzieht sich offensichtlich eine Akzentverschiebung zugunsten von Brennstoffen, die weniger Treibhausgase emittieren (IIASA, 1997). Auch ohne Brennstoffumstellung oder Verringerung der Energieintensität werden die Emissionen im Jahr 2000 Schätzungen zufolge 22 % unter dem Stand von 1990 liegen.

### 2.7.2. "Business-as-usual"-Szenarien bis 2010

Das "Business-as-usual"-Szenario der Kommission für den Zeitraum 1990 bis 2010 (Europäische Kommission, 1997c) geht davon aus, daß keine neuen Konzepte oder Maßnahmen zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgen, das BIP um 2 % pro Jahr zunimmt und die Energieintensität um 1,3 % pro Jahr zurückgeht, so daß in diesem Zeitraum mit einem Anstieg des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um 8 % zu rechnen wäre. Die größte Zunahme ergäbe sich im Verkehrssektor (+39 %), gefolgt vom Energiesektor (Strom- und Wärmeerzeugung) (+12 %). Nur in der Industrie wäre eine rückläufige Entwicklung zu erwarten (-15 %). Legt man die im Rahmen des UNFCCC (1997a) eingereichten nationalen Angaben zugrunde, würden bei Durchführung der derzeitigen Maßnahmen in Norwegen (+33 %) und Island (+35 %) im Jahre 2010 sogar noch höhere Emissionen als 1990 entstehen.

Nach Schätzungen für ausgewählte NUS (Belarus, Republik Moldau, Russische Föderation und Ukraine) wird im Jahre 2010 der Energieverbrauch den Stand von 1990 um 11 % (UNECE, 1996) und das BIP das Ergebnis des gleichen Jahres um 10 % unterschreiten. Bei einem alternativen Szenario (IIASA 1997), demzufolge die Energieintensität in diesen Ländern auf das Niveau von Westeuropa zurückgeht, könnte der Energieverbrauch 2010 um 27 % unter dem Stand von 1990 liegen. Zwar mag dieses Szenario nicht realistisch sein, doch deutet es an, welche Energieeinsparungen und Minderungen der Treibhausgasemissionen in diesen Ländern erreicht werden könnten.

In Mittel- und Osteuropa stellt sich die Situation anders dar. Das BIP könnte im Jahre 2010 den Stand von 1990 um 31 % überschreiten, während der Energieverbrauch lediglich um 4 % zunimmt (UNECE, 1996).

<b>Tabelle 2.2 Emissionsziele entsprechend dem Protokoll von Kyoto im Rahmen des UNFCCC</b>	
<b>Land</b>	<b>Quantifizierte Emissionsbegrenzungs- bzw. Minderungszusage (Prozentsatz bezogen auf das Basisjahr)</b>
<b>EU (Europäische Gemeinschaft)</b>	

und jeder ihrer Mitgliedstaaten	92
<b>MOE und die NUS</b>	
Bulgarien, Tschechische Republik, Estland, Lettland, Litauen, Rumänien, Slowakische Republik, Slowenien	92
Kroatien	95
Ungarn, Polen	94
Russische Föderation	100
Ukraine	100
<b>Andere europäische Länder</b>	
Island	110
Liechtenstein, Schweiz	92
Norwegen	101

Nach dem IASA-Szenario (Konvergenz mit Westeuropa bei der Energieintensität) wächst der Energieverbrauch in diesem Zeitraum nur um 1 %.

### 2.7.3. Nachhaltigkeitsstrategien bis 2010

Wenn die Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre auf dem Stand von 1990 bis 2100 erreicht werden soll, müßten die jährlichen anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen weltweit sofort um 50 bis 70 % und danach noch weiter gesenkt werden (IPCC, 1996b).

Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen formuliert das Ziel, die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird, die wirtschaftliche Entwicklung aber auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann (IPCC, 1996a). Vorläufige Begrenzungen, bei deren Einhaltung diesem Ziel entsprochen werden könnte, wurden bereits vorgeschlagen: ein Temperaturanstieg um 0,1°C pro Jahrzehnt (Krause et al., 1989); ein Anstieg des Meeresspiegels um 2 cm pro Jahrzehnt (Rijsberman und Swart, 1990) sowie eine maximale Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur um 1°C bezogen auf den Stand von 1990 (Vellinga und Swart, 1991). Bei einer Überschreitung dieser Grenzwerte könnten sich für die Ökosysteme, die Nahrungsmittelproduktion und empfindliche Küstenregionen erhebliche und möglicherweise irreversible Risiken ergeben (Abschnitt 2.2).

#### **Kasten 2.1: Konzepte und Maßnahmen**

##### **Kohlendioxid**

###### *Maßnahmen in der EU:*

Entscheidung (93/389/EWG) des Rates über ein System zur Beobachtung der Emissionen von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen in der Gemeinschaft.

###### *Energieeffizienz (EU):*

- SAVE-Programm zur Förderung der effizienten Nutzung der Energie;
- Richtlinien zur Energieeffizienz (Warmwasserspeicher, Kennzeichnung von Haushaltsgeräten und von Kühl- und Gefriergeräten);
- Mitteilung über eine Strategie zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen (Ziel: Kraftstoffverbrauch bei Fahrzeugen mit Ottomotor 5 l/100 km und bei Fahrzeugen mit Dieselmotor 4,5 l/100 km);
- neue saubere und effiziente Energietechnologien: Programme JOULE-THERMIE (FuE und Demonstration);
- Förderung der erneuerbaren Energieträger (ALTENER).

- *Einzelstaatliche Maßnahmen in EU- und Drittländern (Beispiele):*
- auf Freiwilligkeit beruhende und ausgehandelte Vereinbarungen mit Industrie und Energieversorgungssektor;
- Energie-/Kohlenstoffsteuer;
- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) (Industrie, Wohnungen);
- Umstellung von Kohle auf Erdgas und/oder Holz als Brennstoff (Industrie, Energieversorgungssektor);
- Maßnahmen zur Mobilität und zum Fahrverhalten (z. B. Straßenbenutzungsgebühren);
- (Wieder-)Aufforstung.

### **Methan**

#### *Maßnahmen in der EU:*

- Mitteilung über eine Strategie zur Verringerung von Methanemissionen (potentielle Maßnahmen: bessere Stallungsbewirtschaftung, Vorschlag für eine Richtlinie über Abfalldeponien, in der gefordert wird, die Methanemissionen von biologisch abbaubaren Abfällen zu kontrollieren, Verminderung von Leckagen bei der Erdgasgewinnung und -verteilung);
- Die GAP-Reform wird zur Verringerung der Rinderbestände und zur Abnahme der Methanemissionen führen.

#### *Einzelstaatliche Maßnahmen in EU- und Drittländern (Beispiele):*

- Verringerung der Entsorgung von Abfällen auf Deponien durch Müllvermeidung, Recycling und verstärkte Verbrennung von Abfällen;
- Minderung der Methanemissionen im Kohlenbergbau (durch Anwendung der besten verfügbaren Technologien).

### **Distickstoffoxid**

#### *Maßnahmen in der EU:*

Die GAP-Reform wird die Verringerung des Dungaufkommens und des Einsatzes von Mineraldünger und Stallung und damit eine Abnahme der Distickstoffoxidemissionen bewirken.

#### *Einzelstaatliche Maßnahmen in EU- und Drittländern (Beispiele):*

- technische Maßnahmen für einige industrielle Produktionsprozesse.

Zur Einhaltung dieser Begrenzungen sind Vereinbarungen zu folgenden Punkten erforderlich:

- Verteilung der Emissionen des gesamten anthropogenen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O zwischen den Industrieländern (in Anlage I des UNFCCC aufgeführte Länder), die im Basisjahr 1990 für Emissionen in Höhe von 5,8 Gt C (ausgedrückt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) verantwortlich waren (55 % der Gesamtemissionen) und den Entwicklungsländern (nicht in Anlage I verzeichnete Länder), die 4,4 Gt C (45 %) emittierten. Nach dem Berliner Mandat des UNFCCC müssen nicht in Anlage I aufgeführte Länder ihre Emissionen noch nicht einschränken.
- Zeitliche Planung der Maßnahmen zur Linderung der Klimaveränderung.

Neben den Maßnahmen zur Verringerung der Gesamtemissionen und ihrer zeitlichen Planung ist es erforderlich, für jedes einzelne Treibhausgas Strategien zu entwickeln. Während der FCKW-Ausstieg nach dem Montrealer Protokoll bis 2010 bereits abgeschlossen sein dürfte, erfordern einige Ersatzstoffe möglicherweise weitere Aufmerksamkeit (siehe Kapitel 3). Obwohl CO<sub>2</sub> das wichtigste Treibhausgas ist, können sich auch bescheidene Verringerungen der Emissionen von Methan bzw. Distickstoffoxid verhältnismäßig stark auswirken, da sie ein großes Treibhauspotential aufweisen. Dabei mag die Verminderung der Freisetzung dieser Gase technisch und wirtschaftlich leichter sein als die

Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und würde zusätzliche Vorteile bringen, da sie auch zur Bildung troposphärischen Ozons beitragen (Sommermog).

*Emissionskorridore*

Das IPCC hat eine Reihe von Emissionsszenarien erarbeitet, die sich auf Annahmen über Bevölkerungswachstum, Landnutzung, technologische Veränderungen, Energieangebot und Energieträgerstruktur gründen, aber keine konkreten Maßnahmen zur Emissionsreduktion beinhalten. Nach den IPCC-Szenarien liegen die in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausgedrückten globalen Emissionen im Jahre 2010 im Bereich von 11,5 - 15,3 Gt C (6,2 - 8,3 Gt C bei Industrieländern und 5,3 - 7,0 Gt C bei sonstigen Ländern). Der obere Wert geht von einem verhältnismäßig starken Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum sowie einer erheblichen Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen aus, während der niedrigere Wert ein geringes Bevölkerungswachstum, eine vorteilhafte wirtschaftliche und technologische Entwicklung, den Stopp der Waldvernichtung sowie eine stärkere Nutzung erneuerbarer Energien und die vollständige Erfüllung des Montrealer Protokolls zugrunde legt (Leggett et al., 1992).

Anhand des Begriffs "Emissionskorridore" (Alcamo und Kreileman, 1996) lassen sich die Bereiche zulässiger globaler Emissionen festlegen. Die Breite dieser Korridore hängt davon ab, welches Niveau der langfristigen Klimaschutzziele gewählt wurde, und legt den zulässigen Emissionsbereich fest. Tabelle 2.3 zeigt die Emissionskorridore bis 2010 für das EU-Ziel eines maximalen Temperaturanstiegs von 1,5°C zwischen 1990 und 2100, wobei von einer maximalen jährlichen Emissionsreduktionsrate von 2 % ausgegangen wird. Es wird Zahlenmaterial für einen Anstieg von 0,1°C bzw. 0,15°C pro Jahrzehnt vorgelegt. Im ersten (strengeren) Fall liegt die obere Grenze des Emissionskorridors im Jahre 2010 bei 9,5 Gt C (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten).

Geht man davon aus, daß nicht in Anlage I aufgeführte Länder ihre Emissionen weiterhin wie im oben beschriebenen IPCC-Szenario erhöhen (d.h. auf 5,3 - 7,0 Gt C im Jahre 2010), müßte der Ausstoß der Industrieländer (Anlage I) bis zum Jahre 2010 auf 2,5 bis 4,2 Gt C gegenüber dem Stand von 1990 (5,8 Gt C) zurückgehen, was einer Abnahme von ca. 30 bis 55 % entspricht. Ein derartiger Rückgang würde eine Abnahme der durchschnittlichen Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen in Westeuropa von 8,8 t im Jahre 1990 auf einen Wert zwischen 5,8 und 3,7 t im Jahre 2010 bedeuten (selbst wenn man noch ein gewisses Bevölkerungswachstum einkalkuliert). Global werden derzeit durchschnittlich 4 t CO<sub>2</sub> pro Kopf der Bevölkerung aus fossilen Brennstoffen freigesetzt (1,8 t je Einwohner in den Nicht-Industrieländern).

Mit dem Zusatz des weniger strengen, aber nicht nachhaltigen Ansatzes eines Temperaturanstiegs von 0,15° C pro Jahrzehnt sollte gezeigt werden, daß die Nachhaltigkeitsgrenzen für die drei wichtigsten Klimaschutzindikatoren (maximaler Temperaturanstieg 0,1°C pro Jahrzehnt, höchster Anstieg des Meeresspiegels 2 cm pro Jahrzehnt und größte globale Temperaturmittelerhöhung 1°C gegenüber dem Stand von 1990) bedeutende Auswirkungen auf die geforderten Emissionsminderungen in Anlage-I-Ländern und damit auch wichtige politische Folgen haben. Bei Zugrundelegung des gleichen IPCC-Szenarios wie für den Fall eines Temperaturanstiegs von nur 0,1°C in zehn Jahren wäre damit ein geringerer Emissionsrückgang bzw. sogar ein leichter Emissionsanstieg in Anlage-I-Ländern erlaubt. Dies zeigt, daß sich die Festlegung nachhaltiger Beschränkungen bei den drei wichtigsten Klimaschutzindikatoren erheblich auf die geforderten Emissionsreduktionen in Anlage-I-Ländern auswirkt und damit in politischer Hinsicht von Bedeutung ist.

<b>Tabelle 2.3    Höchstzulässige Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für Anlage-I-Länder im Jahre 2010</b>		
<b>Festgelegte Rate des Temperaturanstiegs 1990-2100<sup>a</sup></b>	<b>Globaler Emissionskorridor im Jahre 2010</b>	<b>Höchstzulässige Emissionen in Anlage-I-Ländern für 2010<sup>b</sup></b>
(°C/Jahrzehnt)	(Gt C CO <sub>2</sub> -Äquivalent)	(Index 1990 = 100)
0,1	7,6 - 9,5	45 % - 70 %
0,15	7,6 - 12,3	90 % - 120 %

**Anmerkungen:**

Einschließlich eines (unvermeidlich) höheren Temperaturanstiegs zwischen 1990 und 2010. Bei einer Temperaturerhöhung um 0,1°C pro Jahrzehnt könnte man, was eventuelle Auswirkungen anbelangt,

von eingeschränkten Risiken sprechen. Ein Anstieg um 0,15°C in zehn Jahren liegt jedoch erheblich über dieser Schwelle.

Der Bereich entspricht den als Vergleichsgrundlage herangezogenen und in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausgedrückten Emissionen von 5,3 - 7,0 Gt C, die nicht in Anlage I verzeichnete Länder im Jahre 2010 freisetzen werden, und beinhaltet nur die obere Grenze des Emissionskorridors (Spalte 2).

**Quelle:** RIVM

#### *Zeitliche Planung der Maßnahmen*

Über den Zeitplan der Maßnahmen, mit denen die Gefahr von Klimaveränderungen in Industrieländern verringert werden soll, wird derzeit debattiert. Nach Ansicht einiger Diskussionsteilnehmer bringt ein Aufschub mit sich, daß mehr Zeit zur Stärkung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Verfügung steht und die Kosten der emissionsenkenden Maßnahmen möglicherweise verringert werden können, indem die Zeit zur Entwicklung besserer (und möglicherweise kostengünstiger) Technologien genutzt wird. Für ein Hinauszögern sprechen ferner die Defizite der Gesellschaft bei der Sensibilisierung der Öffentlichkeit und der Erarbeitung und Umsetzung politischer Maßnahmen, aber auch der verhältnismäßig geringe Jahresumschlag von Kapitalgütern. Andererseits bedeuten Verzögerungen bei der Einführung von Reduktionsmaßnahmen aufgrund der langen Lebensdauer von Treibhausgasen in der Atmosphäre, daß zu einem späteren Zeitpunkt mit Sicherheit wesentlich umfangreichere Maßnahmen erforderlich sein werden. Zudem dürfte die Gefahr irreversibler Auswirkungen auf Ökosysteme und Gesellschaft größer sein, wenn nichts unternommen wird und die Treibhausgaskonzentrationen weiter steigen können.

Die Konsequenzen derartiger Verzögerungen lassen sich anhand von Emissionskorridoren abschätzen. Liegt das prognostizierte Emissionsniveau im Jahre 2010 innerhalb des Korridors, gibt es zumindest bis 2100 für die Emissionsentwicklung einen akzeptablen Pfad, der mit den festgelegten Klimaschutzziele in Einklang steht. Ein Aufschub hätte zur Folge, daß im Jahre 2010 mit höheren Emissionswerten zu rechnen ist, während bei Befolgung des Vorsorgeprinzips niedrigere Werte zu erreichen wären. Welche Auswirkungen sich daraus ergeben, läßt sich bei der Betrachtung der Emissionsproblematik nach 2010 bewerten. Bei geringeren Freisetzungen im Jahre 2010 hätten künftige Generationen mehr Chancen, in der Emissionsfrage annehmbare Wege für die Zukunft festzulegen. Höhere Werte im Jahre 2010 würden hingegen bedeuten, daß künftigen Generationen (darunter die Bevölkerung in Nicht-Anlage-I-Ländern) wenig Spielraum bei den notwendigen Emissionsminderungen bleibt, wenn sie die festgelegten Klimaschutzziele einhalten wollen.

#### **Literaturangaben**

Alcamo, J. und Kreileman, E. (1996). Emission scenarios and global climate protection. In *Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions*, Bd. 6, S. 305-334.

Bijlsma, L., Ehler, C.N., Klein, R.J.T., Kulshrestha, S.M., McLean, R.F., Mimura, N., Nicholls, R.J., Nurse, L.A., Perez Nietro, H., Stakhiv, E.Z., Turner, R.K., Warrick, R.A. (1996). Coastal Zones and Small Islands. *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis - Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the IPCC*. Cambridge, Cambridge University Press.

Europäische Kommission (1996a). Bericht der Kommission. *Zweiter Bewertungsbericht gemäß der Entscheidung des Rates 93/389/EWG - System zur Beobachtung der Emissionen von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen in der Gemeinschaft - Fortschritte in der Verwirklichung des CO<sub>2</sub>-Stabilisierungszieles der Gemeinschaft*. KOM (96) 91 endg.

Europäische Kommission (1996b). *Mitteilung der Kommission über das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen*. KOM (96) 217 endg.

Europäische Kommission (1997a). *Mitteilung über eine Strategie der Gemeinschaft zu Klimaänderungen*. Schlußfolgerungen des Rates, 3. März 1997.

Europäische Kommission (1997b). *Mitteilung über eine Strategie der Gemeinschaft zu Klimaänderungen*. Schlußfolgerungen des Rates, 19.-20. Juni 1997.

Europäische Kommission (1997c). *Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuß und den Ausschuß der Regionen - Die energiepolitische Dimension der Klimaänderungen*. KOM(97) 196.

Dai, A., Fung, I.Y. und Del Genie, A.D. (1997). Surface Observed Global Land Precipitation Variation during 1900-88. In *Journal of Climate*, Bd. 10, S. 2943-2962.

Dlugokencky, E.J., Lang, P.M., Masarie, K.A. und Steele, L.P. Atmospheric Methane Mixing Ratios - The NOAA/CMDL Global Co-operative Air Sampling Network (1983-1993). In *Trends 93: A Compendium of Data on Global Change*. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.

Dlugokencky, E.J., Masarie, K.A., Lang, P.M., Tans, P.P., Steele, L.P., Nibs, E.G. (1994). A dramatic decrease in the growth rate of atmospheric methane in the Northern Hemisphere during 1992. In *J Geophys. Res.*, Bd. 99, S. 17021-17043.

EUA (1996). *Ökosteuern: Umsetzung und ökologische Wirksamkeit*, Europäische Umweltagentur, Kopenhagen, 1996. ISBN 92-9167-000-6.

Eurostat (1997). *Kohlendioxidemissionen von fossilen Brennstoffen 1985-1995*. Eurostat, Luxemburg.

Fricke, W. und Wallasch, M. (1994). Atmospheric CO<sub>2</sub> records from sites in the UBA air sampling network. In *Trends 93: A Compendium of Data on Global Change*. Hrsg.: T.A. Boden, D.P. Kaiser, R.J. Sepanski und F.W. Stoss. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.

Haerberli, W. und Hoelzle, M. (1995). Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate change effects on mountain glaciers - a pilot study of the European Alps. In *Ann. Glaciol.* Bd. 21, S. 206-212.

Huntley, B. (1991). How plants respond to climate change: migration rates, individualism and the consequences for plant communities. In *Annals of Botany* Bd. 67 (Supplement 1), S. 15-22.

IEA (1997). *Indicators of Energy Use and Efficiency - Understanding the link between energy and human activity*. ISBN 92-64-14919-8.

IEA (1997). *CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel combustion 1972-1995*. OECD/IEA, Paris, Frankreich.

IIASA (1997). *Integrated assessment of the environmental effects of application of the current EU air emission standards to CEECs*. (Zwischen-)Bericht an die EUA.

IPCC (1990). *Working Group II, 1990, Climate Change, The IPCC Impacts Assessment*. Canberra, Australian Governments Publishing Service.

IPCC (1996a). *Second Assessment Climate Change 1995, a Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (including summary for policy makers)*. WMO, UNEP, 1995.

IPCC (1996b). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Hrsg.: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho B:A: Callander, N. Harris, A. Kattenberg und K. Maskell. Cambridge, Cambridge University Press.

IPCC (1997). *The Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability*, R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss. Cambridge, Cambridge University Press.

Krause, F., Bach, W. und Koomey, J. (1989). *Energy Policy in the Greenhouse, Volume 1: From Warming Fate to Warming Limit*. Benchmarks for a Global Climate Convention. International Project for Sustainable Energy Paths. El Cerrito, Kalifornien.

- Leggett, J., Pepper, W.J. und Swart, R.J. (1992). *Emissions Scenarios for the IPCC: an Update*. Hrsg.: J.T. Houghton, B.A. Callander und S.K. Varney. In *Climate Change 1992*. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, S. 71-95.
- Marland, G. und Boden, T.A. (1997). Global, Regional, and National CO<sub>2</sub> Emissions. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.
- McMichael, A.J., Haines, A., Sloof, R. und Kovats, S. (eds) (1996). *Climate Change and Human Health*. An assessment prepared by a Task Group on behalf of the World Health Organisation, the World Meteorological Organisation and the United Nations Environment Programme. WHO, Genf, Schweiz.
- OECD/IEA (1996). *World Energy Outlook*. OECD/IEA, Paris, Frankreich.
- OECD/IEA (1997). *Energy and climate change*. OECD/IEA, Paris, Frankreich.
- Peerbolte, E.B., de Ronde, J.G., de Vrees, L.P.M., Baarse, G. (1991). *Impact of sea level rise on society: A Case Study for the Netherlands*. Delft Hydraulics und Rijkswaterstaat, Delft und Den Haag, Niederlande, 404 Seiten.
- Peris, D.R., Crawford, F.W., Grashoff, C., Jeffries, R.A., Porter, J.R., Marshall, B. (1996). *A simulation study of crop growth and development under climate change*. *Agricultural and Forest Meteorology* 79(4) S. 271-287.
- Prinn R., Simmonds, P., Rasmussen, R., Rosen, R., Alyea, F., Cardelino, C., Crawford, A., Cunnold, D., Fraser, P. und Lovelock, J. (1983). The Atmospheric Lifetime Experiment, I: Introduction, instrumentation and overview. In *J. Geophys. Res.*, Bd. 88, S. 8353-8368.
- Prinn R., Cunnold, D., Rasmussen, R., Simmonds, P., Alyea, F., Crawford, A., Fraser, P. und Rosen, R. (1990). Atmospheric emissions and trends of nitrous oxide deduced from 10 years of ALE/GAGE data. In: *J. Geophys. Res.*, Bd. 95, S.18369-18385.
- Prinn, R., Cunnold, D., Fraser, P., Weiss, R., Simmonds, P., Alyea, F., Steele, L. P. und Hartley, D. (1997). The ALE/GAGE/AGAGE Network (Update April 1997) In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.
- Rijsberman, F.R. und Swart, R.J. (Hrsg.) (1990). *Targets and Indicators of Climatic Change*. Stockholm Environmental Institute, Stockholm, Schweden, 166 Seiten.
- Smith K. (1995). Precipitation over Scotland 1757-1992: Some aspects of temporal variability. In *Int. J. Climatology*, Bd. 15, S. 543-556.
- Thoning, K.W., Tans, P.P. und Waterman, L.S. (1994). Atmospheric CO<sub>2</sub> records from sites in the NOAA/CMDL continuous monitoring network. Hrsg.: T.A. Boden, D.P. Kaiser, R.J. Sepanski und F.W. Stoss. In *Trends 93: A Compendium of Data on Global Change*. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.
- UK CCIRG (1991). United Kingdom Climate Change Impacts Review Group, *The Potential Effects of Climate Change in the United Kingdom*. HMSO London, UK.
- UK CCIRG (1996). United Kingdom Climate Change Impacts Review Group, *Review of the Potential Effects of Climate Change in the United Kingdom*. HMSO London, UK.
- UNECE (1996). *Energy Balances for Countries in Transition 1993, 1994-2010 and Energy Prospects in CIS-Countries*.
- UNEP (1994). *Environmental Data Report 1993-4*. United Nations Environment Programme Blackwell, UK.

UNFCCC (1997a). *National Communications from Parties included in Annex I to the Convention*. FCCC/SBI/1997/19 und FCCC/SBI/1997/19/Addendum 1.

UNFCCC. (1997b). *Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. FCCC/CP/1997/L.7/Add.1, Dezember 1997.

Vellinga, P. und Swart, R.J. (1991). The greenhouse marathon: A proposal for a global strategy. In *Climatic Change*, Bd. 18, S. 7-12.

Whittle, I.R. (1990). *Lands at risk from sea level rise in the UK*. Hrsg.: J.C. Doornkamp. *The Greenhouse Effect and rising sea levels in the United Kingdom*. M1 Press, Long Eaton Notts., UK, S. 85-93.

