

# Lernsequenzen

Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie | Sekundarstufe 1

## Heft 6

# Energie und Umweltschutz



# Inhalt

	<b>1 Fossile Energieträger und Umwelt</b>	
1.1	<b>Einführung</b> .....	Seite 3
1.2	<b>Belastungen durch Gewinnung und Transport fossiler Energieträger</b> .....	Seite 3
1.3	<b>Energieumwandlung und Emissionen</b> .....	Seite 5
1.4	<b>Luftschadstoffe</b> .....	Seite 5
1.5	<b>Umweltschutz in Kohlekraftwerken</b> .....	Seite 6
1.6	<b>Kohlendioxid und Treibhauseffekt</b> .....	Seite 9
1.7	<b>Das Ozonproblem</b> .....	Seite 10
1.8	<b>Auswirkungen von Kühlverfahren und Abwasserbehandlung</b> .....	Seite 11
1.9	<b>Verwertung von Reststoffen/Müllverbrennung</b> .....	Seite 13
	<b>2 Kernenergie und Umwelt</b>	
2.1	<b>Sicherheitskonzept deutscher Kernkraftwerke</b> .....	Seite 13
2.2	<b>Emissionen aus Kernkraftwerken im Normalbetrieb</b> .....	Seite 14
2.3	<b>Umgebungsüberwachung von Kernkraftwerken</b> .....	Seite 15
2.4	<b>Sicherheit bei Transport und Zwischenlagerung radioaktiver Stoffe</b> .....	Seite 16
2.5	<b>Endlagerung radioaktiver Abfälle</b> .....	Seite 17
2.6	<b>Rückbau von Kernkraftwerken</b> .....	Seite 20
2.7	<b>Sicherheitsrisiko in osteuropäischen Kernkraftwerken</b> .....	Seite 20
	<b>3 Regenerative Energien und Umwelt</b>	
3.1	<b>Eingriffe in die Umwelt durch Nutzung der Wasserkraft</b> .....	Seite 22
3.2	<b>Windkraftanlagen und Umwelt</b> .....	Seite 22
3.3	<b>Umweltverträglichkeit photovoltaischer Anlagen</b> .....	Seite 23
3.4	<b>Sonstige Belastungen durch regenerative und fossile Energieträger</b> .....	Seite 25
3.4.1	Energieaufwand .....	Seite 25
3.4.2	Materialaufwand .....	Seite 25
3.4.3	Emissionen .....	Seite 25
3.4.4	Gesundheitsrisiko .....	Seite 26
	<b>4 Auswirkungen elektrischer und magnetischer Felder</b>	
4.1	<b>Elektrisches und magnetisches Feld physikalisch</b> .....	Seite 26
4.2	<b>Unbekannte Risiken durch Felder?</b> .....	Seite 27
	<b>5 Energie- und Umweltpolitik</b>	
5.1	<b>Politische Einflussnahmen</b> .....	Seite 28
5.2	<b>Gesetzliche Grundlagen, z. B. Ökosteuer</b> .....	Seite 28
5.3	<b>Gesellschafts- und kulturpolitische Entwicklungen, z. B. Sicherheitsschutz</b> .....	Seite 30
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	Seite 32
	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	Seite 32



# 1 Fossile Energieträger und Umwelt

## 1.1 Einführung

Der Anteil der fossilen Energieträger Mineralöl, Kohle und Erdgas am gesamten Primärenergieverbrauch beträgt in Deutschland fast 90 %. Die Sonnenenergie als chemische Energie, die in diesen Energieträgern gespeichert ist, wird durch Verbrennungsprozesse in Wärmeenergie umgewandelt und gegebenenfalls nach weiteren Umwandlungsstufen vom Verbraucher als Energiedienstleistung genutzt.

Bei den Einwirkungen fossiler Energieträger auf die Umwelt handelt es sich in erster Linie um Emissionen, die über Auspuffrohre oder Schornsteine in die Atmosphäre gelangen. Hierzu gehören Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffverbindungen und Stäube, soweit sie nicht durch spezielle Rückhalteeinrichtungen im Kraftwerk selbst „unschädlich gemacht“ werden. Die Stickstoffoxide, die überwiegend aus dem Kraftfahrzeugverkehr stammen, tragen – ebenso wie das Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) – zur Entstehung des „sauren Regens“ bei, und auch das Problem des bodennahen Ozons hängt eng mit den Stickstoffoxid-Emissionen zusammen. Praktisch unvermeidlich ist die Freisetzung von Kohlendioxid, das als „Treibhausgas“ bei jeder Verbrennung fossiler Energieträger entsteht. Im Bereich kohlebefeuerter Kraftwerke fallen außerdem verschiedene feste Rückstände an. Hinzu kommen Belastungen der Umwelt durch Lärm, Landschaftsverbrauch oder die Beeinträchtigung von Gewässern. Auch die Gewinnung und der Transport fossiler Rohstoffe führen teilweise zu erheblichen Belastungen der Umgebung, die bei einigen Energieträgern allerdings nicht direkt im Blickwinkel des deutschen Betrachters liegen, weil Deutschland diese ganz überwiegend importiert.

## 1.2 Belastungen durch Gewinnung und Transport fossiler Energieträger

### Erdöl und Erdgas

So kann z. B. die Förderung von Erdöl – sei es auf dem Festland oder Offshore – bei technischen Defekten nachhaltige Umweltbeeinträchtigungen zur Folge haben. Tankerhavarien verursachen immer wieder schwere Schäden an den Meeresküsten. Leckagen und Brüche von Erdölleitungen können zur Verschmutzung und Vergiftung weiter Landstriche führen. Und Erdgas, das irgendwo aus undichten Pipelines austritt, steigt in höhere Schichten der Atmosphäre auf und wirkt dort als klimaveränderndes Treibhausgas.

### Der heimische Kohlebergbau

Im westlichen Teil der Bundesrepublik – insbesondere im Rhein-Ruhr-Gebiet – sind reiche Steinkohlevorkommen vorhanden, die seit Beginn der industriellen Revolution im Untertagebau bergmännisch erschlossen werden. In den betroffenen Gebieten hat dies in der Vergangenheit nicht nur zu Bergschäden an Gebäuden und Verkehrswegen geführt. Beeinträchtigungen der Umwelt sind auch mit dem Transport, der Lagerung und der industriellen Nutzung des „Schwarzen Goldes“ verbunden. In Verbindung mit dem Steinkohlenbergbau entwickelte sich eine Schwerindustrie, die der ganzen Region auch im Hinblick auf die Umwelt ihren Stempel aufdrückte.

Aufgrund tiefgreifender struktureller Veränderungen während der letzten Jahrzehnte und erheblich verschärfter Umweltschutzgesetze, sind die Belastungen heute jedoch um ein Vielfaches geringer als noch in den 50er oder 60er Jahren. Die deutsche Steinkohlenförderung ist stark zurückgegangen. Der Bergbau trägt schwer an seinen hohen Abbaukosten, die nicht zuletzt auf die hohe durchschnittliche Schachttiefe von zur Zeit etwa 900 m zurückzuführen sind. Zum größten Teil wird die geförderte Steinkohle heute in Kohlekraftwerken zur Stromerzeugung eingesetzt; für die nächsten Jahre ist mit einem weiteren Rückgang des Anteils deutscher Steinkohle zugunsten preisgünstiger Importkohle zu rechnen.

Der zweite bedeutende heimische Energieträger ist die Braunkohle, die in west- und ostdeutschen Revieren im Tagebau gewonnen wird. Hieraus ergeben sich massive Eingriffe in die Landschaft und den Wasserhaushalt. Menschen müssen umgesiedelt werden und aufwändige Rekultivierungsmaßnahmen sind erforderlich. In der Köln-Aachener Region gibt es seit Anfang der 90er Jahre erhebliche politische Widerstände gegen den geplanten Tagebau Garzweiler II, aus dem zwischen 2006 bis 2045 jährlich 30–40 Millionen t Braunkohle gefördert werden sollen. Dies hat zur Folge, dass 7.600 Menschen aus elf Orten umgesiedelt werden müssen. Da die Planung und die Umsetzung des Braunkohlenab-

Lagerstättenvorräte der Braunkohlereviere in Mrd. t			
Revier	Geologische Vorräte	Wirtschaftlich gewinnbare Vorräte	Genehmigte u. erschlossene Tagebaue
Rheinland	55,0	35,0	3,8
Lausitz	12,4	3,9	2,1*
Mitteldeutschland	10,0	2,1	0,6
Deutschland	77,4	41,0	6,5

\* Nutzbare Vorratsmenge laut genehmigten Braunkohleplanungen per 31.12.2004: 1,6 Mrd. t

Abb.: 6\_1\_2\_0

waltungsvorschriften ergänzt, die mehrmals erweitert und in ihren Anforderungen verschärft worden sind. Von besonderer Bedeutung für die Kohlekraftwerke sind die Großfeuerungsanlagen-Verordnung (13.BImSchV), die die Emissionsgrenzwerte, sowie die im August 2003 in Kraft getretene 17.BImSchV, die die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen regeln.

Eine weitere rechtliche Grundlage gegen schädliche Umwelteinflüsse durch Luftverunreinigungen besteht in der Verwaltungsvorschrift „Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ (TA-Luft). Ihr emissionsseitiger Teil gilt für eine Reihe von Anlagen mit Leistungen von 1 MW bis 50 MW thermisch und schließt kleine Kohlefeuerungen ein, die aufgrund ihrer geringen Leistung nicht unter die BImSchV fallen. Neben Emissionsgrenzwerten enthält die TA-Luft auch Bestimmungen über den Transport und die Lagerung von staubförmigen Verbrennungsrückständen und das Entleeren von Filteranlagen. Am 19.7.1999 ist die EU-Richtlinie 1999/30/FG mit Grenzwerten für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Stickstoffoxide und Partikel von Blei in der Luft in Kraft getreten. Am 13.12.2000 wurden erstmals EU-Grenzwerte für Benzol und Kohle erlassen.

Als wichtigste Vorschrift für Maßnahmen zur Lärm-eindämmung gilt die „Technische Anleitung zum Schutz vor Lärm“ (TA-Lärm). Sie setzt Immissionsgrenzwerte fest, die in direkt benachbarten Gebieten von Kraftwerken oder anderen industriellen Anlagen nicht überschritten werden dürfen.

Der Gewässerschutz ist in verschiedenen Gesetzen, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften über den Wasserhaushalt und die Abwasserbeseitigung geregelt. Hinsichtlich der Wärmebelastung von Flüssen bestehen Wärmelastpläne, in denen unter anderem Grenzwerte für die Einleitungstemperaturen von Kühlwasser festgelegt sind.

### Maßnahmen zur Luftreinhaltung

Bei den Luftschadstoffen, die in Kohlekraftwerken entstehen, handelt es sich vor allem um Schwefeldioxid, Stickstoffoxide und Staub. Moderne Kraftwerke sind mit Anlagen ausgerüstet, die unter den Stichworten Entschwefelung – Entstickung – Entstaubung (technisch auch in anderer Reihenfolge) die Rauchgase so weit reinigen, dass die Schadstoffbelastung durch Kohlekraftwerke auf einen Bruchteil des ursprünglichen Wertes reduziert wurde.

Der weitaus größere Abgasanteil besteht aus Wasserdampf und Kohlendioxid. Nach dem heuti-

gen Stand der Technik gibt es für fossil gefeuerte Kraftwerke keine großtechnischen Verfahren, mit denen sich das CO<sub>2</sub> zurückhalten ließe. Zwar ist es grundsätzlich möglich, bei Verbrennungsprozessen entstehendes Kohlendioxid durch chemische Reaktionen zu absorbieren, jedoch würden alle bisher bekannten Verfahren einen äußerst hohen Aufwand an technischen Einrichtungen und Energieinsatz erfordern. Eine wirksame Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen lässt sich nur erreichen, wenn die Verbrennung kohlenstoffhaltiger Energieträger dramatisch reduziert wird. Moderne Kohlekraftwerke tragen durch verbesserte Wirkungsgrade zu einer hohen Ausnutzung des eingesetzten Rohstoffs bei und entsprechen damit der Forderung, fossile Energie einzusparen.

Dennoch gibt es Bestrebungen, „abgasfreie“ Kohlekraftwerke zu entwickeln. Ziel ist es, das entstehende CO<sub>2</sub> abzutrennen um zu verhindern, dass das als Klimakiller in Verruf geratene Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangt. Eine Speicherung könnte z. B. in unterirdischen Lagerstätten erfolgen.

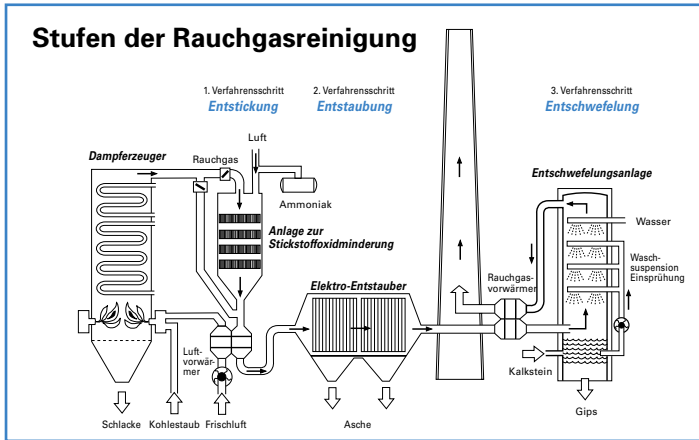
Um das mittelfristig zu realisieren, bieten sich drei Technologien an: die chemische Bindung des CO<sub>2</sub>, ein Vergasungsprozess mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung sowie die Verbrennung in reinem Sauerstoff, das sogenannte Oxyfuel-Verfahren.

Vattenfall Europe z. B. sieht im Oxyfuel-Verfahren die größten technischen und wirtschaftlichen Vorteile. Dieses Unternehmen hatte im Mai 2005 angekündigt, eine entsprechende Pilotanlage mit 30 MW thermischer Leistung in Schwarze Pumpe nahe Cottbus zu errichten, die Mitte 2008 in Betrieb gehen soll. Am Ende dieser Prozesskette soll das CO<sub>2</sub> dann mit einer Reinheit von 99 % abgeschieden werden. Wenn diese Anlage die technischen und wirtschaftlichen Erwartungen erfüllt, soll diese Technik ab 2020 auch im Großbetrieb eingesetzt werden.

### Rauchgasentschwefelung

Um die Rauchgase großer Kohlekraftwerke vom Schwefeldioxid zu befreien, gibt es verschiedene technische Möglichkeiten. In Deutschland hat sich weitgehend das Waschprinzip durchgesetzt – etwa 95 % aller Anlagen arbeiten nach diesem Verfahren. Das Kernstück einer modernen Rauchgas-Entschwefelungs-Anlage (REA) ist der Waschturm: Das ungereinigte Rauchgas wird mit einer Waschsuspension besprüht, die das Schwefeldioxid durch chemische Reaktionen weitgehend absorbiert.

Ein Waschturm – häufig auch „Absorberturm“ genannt – kann gut 40 Meter hoch sein und etwa 15 Meter im Durchmesser messen. Das schwefelhaltige Rauchgas



6\_1\_5\_1

tritt von unten in den Turm, wo es zunächst durch einen ersten Absorptionskreislauf auf ca. 50°C gekühlt wird. Die Waschflüssigkeit besteht meist aus einer Suspension von fein gemahltem Kalkstein ( $\text{CaCO}_3$ ) in Wasser; teilweise kommt auch gebrannter Kalk ( $\text{CaO}$ ) zum Einsatz.

Neben dem Absorberturm befindet sich ein Versorgungstank, in dem die Waschsuspension angerührt wird. Über Pumpen gelangt sie in den oberen Absorptionskreislauf des Waschturms, wo auf mehreren Düsenebenen ein intensiver Kontakt zum Rauchgas entsteht. Dabei geht das gasförmige Schwefeldioxid zunächst in der Waschflüssigkeit in Lösung, anschließend reagiert es mit dem Kalkstein zu Calciumsulfid ( $\text{CaSO}_3$ ) unter Freisetzung von Kohlendioxid.

Die gereinigten Rauchgase verlassen den Turm über Tropfenabscheider. Im unteren Teil des Waschturms sammelt sich die mit Calciumsulfid beladene Waschsuspension. Durch Einblasen von Luft wird die Flüssigkeit mit Sauerstoff angereichert und Calciumsulfid oxidiert zu Calciumsulfat-Dihydrat – allgemein bekannt als Gips. Es wird heute ein  $\text{SO}_2$ -Abscheidungsgrad von bis zu 95 % erreicht.

### Rauchgasentstickung

Die Menge der Stickstoffoxide, die bei der Verbrennung von Kohle entsteht, ist wesentlich von der Höhe der Verbrennungstemperatur abhängig. Bei braunkohlebefeueten Anlagen kann die Flammtemperatur durch verbrennungstechnische Maßnahmen so weit abgesenkt werden, dass die  $\text{NO}_x$ -Emissionen im Rahmen der vorgeschriebenen Grenzwerte bleiben und keine weiteren Vorkehrungen erforderlich sind.

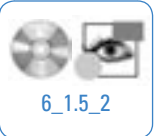
In Steinkohlekraftwerken muss dagegen eine gesonderte Behandlung der entstandenen Rauchgase erfolgen, um den Anteil der Stickstoffoxide auf ein zulässiges Maß zu beschränken. Dies geschieht bei

deutschen Kraftwerken überwiegend nach dem so genannten SCR-Verfahren. „SCR“ bedeutet „Selective Catalytic Reduction“ – ein katalytisches Reduktionsverfahren, das gezielt („selektiv“) die Stickstoffe reduziert.

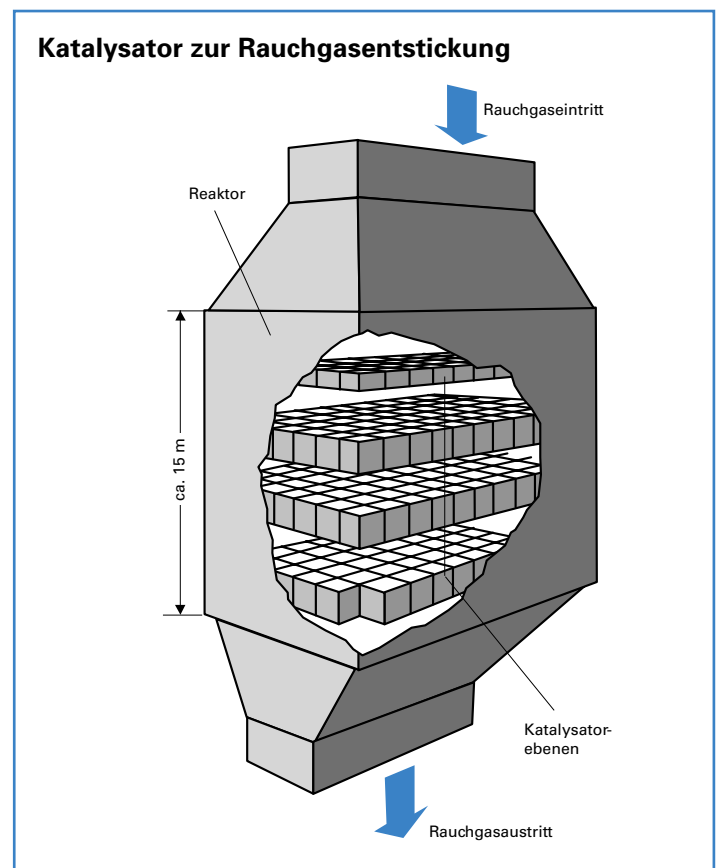
Das Kernstück der Anlage ist ein Katalysator, der die chemische Umwandlung der Stickstoffe bewirkt, ohne selbst an den Reaktionen direkt teilzunehmen. Die Rauchgase treten mit einer Temperatur von etwa 350°C in den Reaktor und werden mit einem Gemisch aus Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Luft angereichert. Beim Durchströmen des Katalysators wirkt das Ammoniakgas als Reduktionsmittel: den Stickstoffoxiden wird der Sauerstoff entzogen. Dabei entstehen molekularer Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Wasserdampf, die als natürliche Bestandteile der Luft nach außen abgegeben werden können. Erreicht werden  $\text{NO}_x$ -Abscheidungsgrade von mehr als 75 %.

### Rauchgasentstaubung

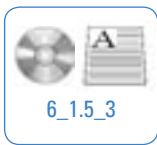
Bei einem Kohlekraftwerk kann der Staubgehalt bis zu 20 Gramm pro Kubikmeter Rauchgas betragen – ungereinigt würden dem Kraftwerkskamin schwarze Rauchwolken entweichen. Nach der Großfeuerungsanlagen-Verordnung dürfen aber höchstens 50 Milligramm Staub im Kubikmeter Rauchgas ( $\text{mg/m}^3$ ) enthalten sein; das bedeutet, dass Abscheidungsgrade von über



6\_1\_5\_2



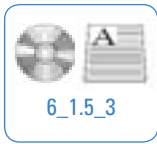
99 % erzielt werden müssen. Um dies zu erreichen, setzt man heute in großen Kraftwerken fast ausschließlich Elektro-Entstauber ein. Die häufig gebrauchte Bezeichnung „Elektrofilter“ ist sachlich ungenau, denn der Rückhalteeffekt entsteht nicht durch Filtration, sondern durch elektrostatische Aufladung der Staubpartikel.



Hierzu wird im Elektro-Entstauber ein starkes elektrisches Feld erzeugt.

Die typische äußere Form eines Elektro-Entstaubers mit den trichterförmigen, mehrfach vorhandenen Ascheabzügen ist durch die Aufteilung in mehrere Abscheidézonen zu erklären, die nacheinander vom Rauchgas durchströmt werden.

Die Abmessungen moderner Elektro-Entstauber sind beträchtlich: Der Entstauber für eine Kesselanlage zum Erzeugen von 125 MW elektrischer Leistung ist zum Beispiel 24 m lang, 16 m hoch und 15 m breit. Pro Stunde strömen rund 450.000 m<sup>3</sup> Rauchgas durch den Entstauber; das entspricht dem Volumen eines Würfels mit einer Kantenlänge von 77 m. Die Menge der stündlich abgeschiedenen Flugasche beträgt bei diesem Beispiel fast dreieinhalb Tonnen.



## 1.6 Kohlendioxid und Treibhauseffekt

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist ein natürlicher Bestandteil der Atmosphäre. Zu etwa 0,03 % in der Luft enthalten, gehört es zu den so genannten Spurengasen. Früher galt das für das Wachstum der Pflanzen lebenswichtige Kohlendioxid, das in großen Mengen beim Verbrennen kohlenstoffhaltiger Energieträger entsteht, als unbedenkliches Produkt der Energieumwandlung und Energienutzung. Seit den 80er Jahren aber ist CO<sub>2</sub> unter dem Schlagwort Treibhauseffekt in die öffentliche Diskussion geraten.



### Natürlicher Treibhauseffekt

Prinzipiell handelt es sich beim Treibhauseffekt um eine natürliche Erscheinung und eine wichtige Voraussetzung für das Leben auf der Erde. Denn ohne diesen Effekt würde die globale Durchschnittstemperatur, die heute in Bodennähe bei etwa 15 °C liegt, nur -18 °C betragen: Die Erde wäre nicht der „blaue Planet“, sondern eine Wüste aus ewigem Eis. Als Ursache des natürlichen Treibhauseffekts gilt vor allem Wasserdampf, der zu ein bis drei Prozent in der bodennahen Lufthülle enthalten ist – meist bleibt er dabei unsichtbar. Wasserdampf, Kohlendioxid und andere Spurengase sind für den kurzwelligen Teil der Sonnenstrahlung keine Barriere: Die Strahlung

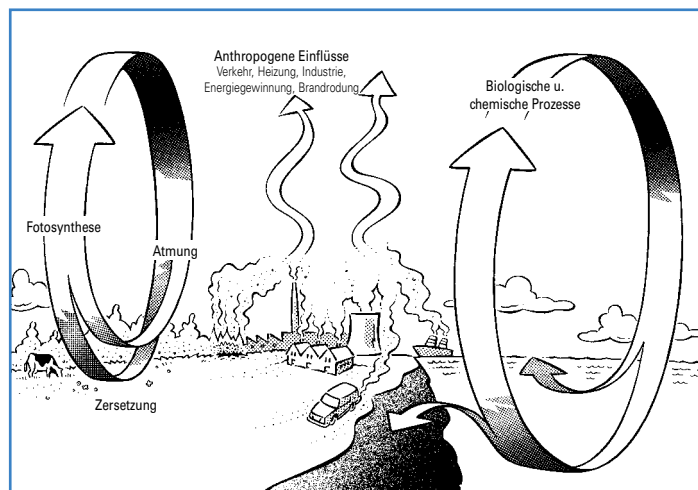
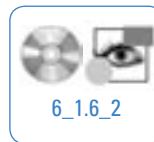


Abb.: 6\_1.6\_2

Kohlendioxid als Umweltfaktor



tritt ungehindert durch und erwärmt die Erdoberfläche.

Ein Teil der Strahlung wird vom Boden absorbiert und als längerwellige Infrarotstrahlung wieder emittiert. Diese Wärmestrahlung ist im Gegensatz zum kurzwelligen Sonnenlicht nicht in der Lage, die Schicht aus Wasserdampf und Spurengasen zu durchdringen – sie wird absorbiert und zum Teil zur Erdoberfläche zurückgeworfen. Aufgrund dieses Vorgangs erwärmen sich die bodennahen Luftschichten um mehr als 30 °C. Da das gleiche Prinzip in Gewächshäusern genutzt wird – hier wirken die Glasscheiben als Sperrschicht – spricht man vom „Treibhauseffekt“.

### Vom Menschen verursachter (anthropogener) Treibhauseffekt

Der natürliche Treibhauseffekt verstärkt sich durch die Aktivitäten des Menschen: Verbrennen von Holz, Kohle, Erdgas und Erdölprodukten; Freisetzen von industriell erzeugten Chemikalien; Abgase von Zersetzungstoffen aus intensiver Landwirtschaft. Diese und andere Prozesse führen zum kontinuierlichen Anstieg des Kohlendioxids und weiterer Spurengase.

Die meisten davon bilden für die reflektierte Wärmestrahlung eine Sperrschicht: Es kommt zum anthropogenen Treibhauseffekt. Im Wesentlichen sind es fünf Stoffe bzw. Stoffgruppen, die als „Treibhausgase“ wirken:

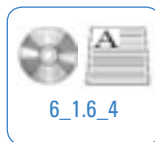
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	zu etwa 50 %
Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)	zu etwa 20 %
Methan (CH <sub>4</sub> )	zu etwa 15 %
Ozon (O <sub>3</sub> )	zu etwa 10 %
Distickstoffoxid (N <sub>2</sub> O)	zu etwa 5 %

Der Anteil von Kohlendioxid in der Atmosphäre hat seit Mitte des 19. Jahrhunderts bis zur Gegenwart um rund 25% zugenommen. Aufgrund von Eisbohrungen in der Antarktis ist bekannt, dass der heutige CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft deutlich über den Werten vergangener Jahrtausende liegt. Offensichtlich steht die Zunahme der Kohlendioxid-Konzentration in direktem Zusammenhang mit der Industrialisierung, mit der weltweit ein enormes Anwachsen der Verbrennung fossiler Brennstoffe einherging.

Untersuchungen der Temperaturlaufzeichnungen seit 1861 haben ergeben, dass sich das globale Klima im Mittelwert (über Landgebieten und Meeresoberflächen) um etwa 0,6°C erwärmt hat. Nach Ansicht der meisten Wissenschaftler ist diese Temperaturerhöhung im Wesentlichen auf den analog verlaufenden Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre zurückzuführen. Eine weitere Zunahme der Spurengase lässt daher befürchten, dass der anthropogene Treibhauseffekt in den kommenden Jahrzehnten erheblichen Einfluss auf das Weltklima haben könnte.

So werden für den Fall einer CO<sub>2</sub>-Verdoppelung Temperaturerhöhungen zwischen 1,5 und 3°C erwartet. Damit verbunden könnte der Meeresspiegel nach unterschiedlichen Hochrechnungen zwischen 15 und 150 cm steigen.

Die möglichen Auswirkungen des Treibhauseffekts für die verschiedenen Regionen der Erde lassen sich nur vage abschätzen. Überwiegend wird angenommen, dass klimabedingte Veränderungen, wie z.B. Überschwemmungen und große Hitze, gravierende Störungen der gegenwärtigen Lebensbedingungen auslösen könnten.



## 1.7 Das Ozonproblem

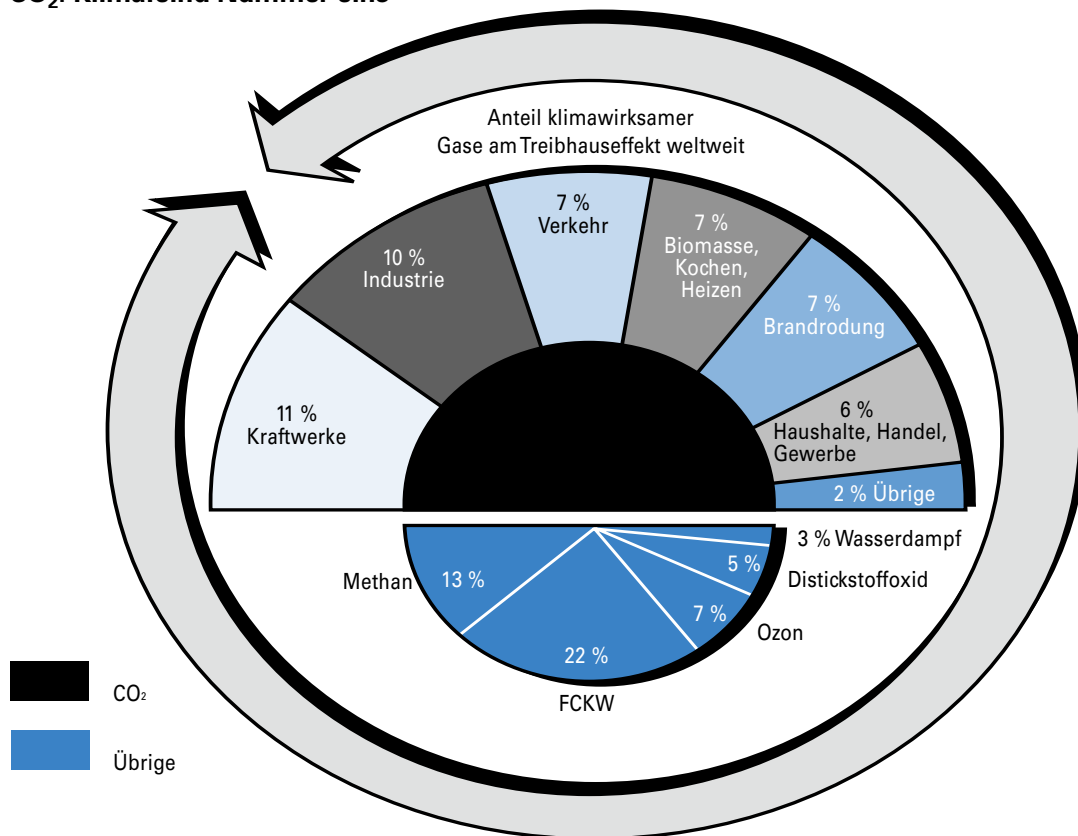
Es wird in zunehmenden Maße über beängstigende „Ozonlöcher“ berichtet, die in Höhen zwischen 15 und 50km über den Polregionen der Erde entstehen – andererseits gibt es jeden Sommer Klagen über unnatürlich hohe Ozonkonzentrationen, die sich an strahlenden Sommertagen in direkter Nähe des Erdbodens entwickeln.

Dort, in der Stratosphäre, bildet Ozon einen lebensnotwendigen Schutzschild gegen die aggressive UV-Strahlung der Sonne; hier, in Bodennähe, ist es ein Reizgas im doppelten Sinne des Wortes – seit Jahren Streitobjekt im verkehrspolitischen „Sommertheater“. Warum, so wird häufig gefragt, kann der Überfluss am Boden den Mangel in der Höhe nicht einfach ausgleichen?



Abb.: 6\_1.6\_3

### CO<sub>2</sub>: Klimafeind Nummer eins



## 1.9 Verwertung von Reststoffen/ Müllverbrennung

Bei den Verfahren, die zur Reinhaltung der Luft zum Einsatz kommen, entstehen verschiedenartige Reststoffe. Diese müssen gemäß gesetzlicher Auflagen einer weiteren Verwendung zugeführt werden; das geordnete Ablagern auf Deponien ist nur in bestimmten Ausnahmefällen zulässig.

In Kohlekraftwerken entstehen vor allem feste Verbrennungsrückstände, die als staubförmige oder grobe Asche anfallen. Der größte Teil entweicht als staubförmige Flugasche mit den Rauchgasen aus dem Brennraum; der Rest wird am Kesselboden als grobkörnige Kesselasche abgezogen.

Die im Elektro-Entstauber zurückgehaltene Flugasche besteht im Wesentlichen aus oxidischen Mineralien, deren anteilige Zusammensetzung von der eingesetzten Kohleart abhängt. Ein Großteil der Asche kann in der Baustoffindustrie zur Zementherstellung oder als Betonzusatzstoff verwendet werden; auch der Einsatz im Straßenbau ist möglich. In den ostdeutschen Braunkohlekraftwerken wird Flugasche mit salzhaltigen Abwässern aus der Rauchgasentschwefelung zu einer Art „Magerbeton“ umgewandelt, der sich zur Sanierung ausgekohlter Braunkohlentagebaue eignet. Ein anderer Reststoff, der in Kohlekraftwerken anfällt, ist der sogenannte REA-Gips aus den Rauchgasentschwefelungsanlagen. Die REA eines 550-MW-Steinkohleblocks produziert bei Vollastbetrieb stündlich etwa sieben Tonnen Gips. Wenn das Kraftwerk jährlich beispielsweise 4.500 Vollaststunden arbeitet, werden rund 31.500t Gips erzeugt. Die Qualität dieses Produkts entspricht den Anforderungen der gipsverarbeitenden Industrie und ermöglicht vielfältige Verwertungen im Baubereich. Der in den ostdeutschen Braunkohlekraftwerken Jänschwalde, Boxberg und Schwarze Pumpe anfallende Gips (jährlich rund zwei Millionen t) ist die Rohstoffgrundlage für sechs Gipsbaustoffwerke, die sich nahe der Kraftwerke befinden.



## 2 Kernenergie und Umwelt

An der Nutzung fossiler Energieträger und den daraus entstehenden Umweltbelastungen sind viele Wirtschaftsbereiche einer modernen Industrienation beteiligt. Anders bei der Nutzung der Kernenergie: Der Energieträger Uran wird in Deutschland überwiegend zur Stromerzeugung in Kernkraftwerken eingesetzt, die von großen Energieversorgungsunternehmen betrieben werden. Die Betreiber der Kernkraftwerke erzeugen zwar ein begehrtes Gut – nämlich elektrische Energie – benutzen dazu jedoch eine Technik, die in der deutschen Öffentlichkeit seit dem Reaktorunfall im ukrainischen Tschernobyl auf erhebliche Akzeptanzschwierigkeiten trifft. Forderungen nach dem Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie wurden laut, die schließlich 2001 zu einem Vertrag zwischen der Bundesregierung und der Energiewirtschaft führte, der u. a. nur noch eine begrenzte Laufzeit für die bestehenden Kernkraftwerke vorsah.

Von den Kritikern der Kernenergie wird allerdings oft übersehen, dass die deutschen Kernkraftwerke zu den sichersten der Welt gehören und über einen technischen Standard verfügen, der beispielhaft ist und andernorts Schrittmacherdienste geleistet hat. Rund 30% der elektrischen Energie für die öffentliche Stromversorgung in Deutschland kommt aus Druck- und Siedewasserreaktoren, die ständig nachgerüstet und weiterentwickelt werden, so dass ein umweltverträglicher Betrieb zuverlässig gewährleistet ist.

### 2.1 Sicherheitskonzept deutscher Kernkraftwerke

Für alle Kernkraftwerke gilt das Konzept der mehrfachen Barrieren, wodurch das Austreten von Radioaktivität auch bei schweren Betriebsstörungen verhindert wird. Die erste Barriere besteht aus der Brennstoff-Matrix. Die „Pellets“, die das Uran enthalten, sind in metallische Hüllrohre gasdicht eingeschweißt. Insgesamt befinden sich die Brennelemente in einem stählernen Reaktordruckbehälter, dessen Wandstärke bis zu 25 cm beträgt. Der Druckbehälter ist von einer Betonkammer umgeben, durch deren zwei Meter dicke Wände die Gammastrahlung und die Neutronenstrahlung abgeschirmt werden. Die vierte Barriere besteht aus dem kugelförmigen Sicherheitsbehälter, der den gesamten nuklearen Teil des Kernkraftwerks einschließt. Der Sicherheitsbehälter ist aus ca. drei Zentimeter starken Stahlplatten



Im Vordergrund: Olkiluoto 3 (Fotomontage) – EPR in Finnland



6\_2.1\_1

zusammengeschweißt und in seinem Volumen so bemessen, dass er einen Teil des radioaktiven Kühlmittels auch in Dampfform aufnehmen könnte. Die letzte Barriere wird durch eine bis zu zwei Meter dicke Stahlbetonhülle gebildet, die den Zweck hat, das Kraftwerk vor äußeren Einflüssen zu schützen.

Ergänzend zu diesen „passiven“ Sicherheitsbarrieren gibt es „aktive“ Sicherheitseinrichtungen zum Schutz von Mensch und Umwelt, die je nach Reaktortyp verschieden sind. Hierzu gehören Sicherheitssysteme, die bei einem Störfall aktiv werden und den Reaktor zunächst abschalten. Anschließend gewährleisten sie eine zuverlässige Kühlung, um die entstehende Nachzerfallswärme abzuführen.

Die Konstruktion dieser Systeme erfolgt bei Druck- und Siedewasserreaktoren nach den gleichen Grundsätzen, z. B. nach dem Prinzip der Redundanz. Dies bedeutet, dass für die Sicherheitsfunktion mehr Elemente vorhanden sind, als eigentlich erforderlich wären,



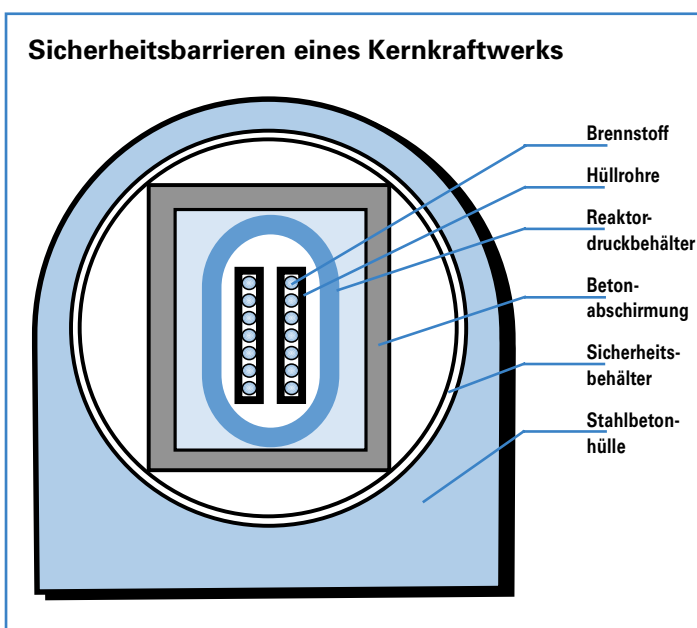
6\_2.1\_2

beispielsweise werden statt eines Schließventils zwei oder drei in Reihe angeordnet. Das Prinzip der Diversität verlangt, dass diese Schließventile von verschiedenen Herstellern stammen müssen, um systematischen, konstruktionsbedingten Fehlfunktionen vorzubeugen. Ein anderer Grundsatz ist das so genannte Fail-Safe-Prinzip: Ein auftretendes Versagen (fail) führt dazu, dass das System von selbst in den sicheren Zustand übergeht. Beispiel: Die Abschaltstäbe des Druckwasserreaktors werden elektromagnetisch in ihrer Position gehalten. Bei Stromausfall würden sie durch ihr Eigengewicht nach unten in den Reaktorkern gleiten, was automatisch zur Abschaltung des Reaktors führt.

Kernkraftwerke der dritten Generation, der Europäische Druckwasserreaktor (European Pressurized Water Reactor – EPR) hat u. a. eine verbesserte Störfall-Vorbeugung. Dazu gehört ein vergrößertes Wasserinventar im Reaktorkühlsystem und in den Dampferzeugern, eine verringerte Leistungsdichte im Reaktorkern sowie eine erhöhte Zuverlässigkeit der Sicherheitssysteme durch vierfache Redundanz (Mehrfach-Auslegung) und eine strenge räumliche Trennung der vier Sicherheitsstränge. Sollte es trotzdem zur Schmelze des Reaktorkerns kommen, würde der geschmolzene Kern unterhalb des Reaktordruckbehälters auf einer speziellen Ausbreitungsfläche innerhalb des Containments aufgefangen und gekühlt werden. Das äußerst robuste doppelwandige Containment würde die Radioaktivität sicher einschließen. Selbst schwere Störfälle blieben mit ihren Auswirkungen auf das Betriebsgelände beschränkt und würden daher das Umfeld des Kernkraftwerkes nicht beeinträchtigen.


## 2.2 Emissionen aus Kernkraftwerken im Normalbetrieb

Beim Betrieb eines Kernkraftwerkes entsteht eine Vielzahl von radioaktiven Nukliden mit sehr unterschiedlicher Strahlungsaktivität und Lebensdauer. Im Brennstoff selbst bilden sich außer den hochaktiven Spaltprodukten neue radioaktive Elemente, die teilweise ebenfalls zur Spaltung geeignet sind – im Wesentlichen Plutonium-239. Diese Nuklide werden aber innerhalb des Brennstoffs oder in den metallischen Hüllrohren nahezu vollständig zurückgehalten. Dennoch enthält auch das Kühlmittel radioaktive Stoffe: neben Spuren von Spaltprodukten wie Cäsium-137 oder Jod-131 sowie den Edelgasen Krypton und Xenon Radionuklide von Wasserstoff (Tritium) und aktivierte Korrosionsprodukte wie Kobalt-50. Das Kühlmittel wird im geschlossenen Kreislauf geführt und ständig gereinigt. Dabei fallen radioaktive Rück-



stände an, die größtenteils schon im Kraftwerk konditioniert, das heißt für die Zwischen- und Endlagerung vorbereitet werden. Ein geringer Teil der radioaktiven Stoffe lässt sich aber trotz aufwändiger Abscheidervorrichtungen nicht vollständig zurückhalten.

### Emissionen eines Kernkraftwerkes im Monat April

	Edelgase Abluft	Aerosole Abluft	Jod-131 Abluft	Gamma-Akt. Abwasser
<b>Monatsabgabe absolut in Giga-Becquerel (GBq)</b>	14,1 GBq	u. NWG*	u. NWG*	u. NWG**
<b>Monatsabgabe in % des Jahresgrenzwertes</b>	0,0014 %	—	—	—
<b>Abgabe seit Jahresbeginn in % des Jahresgrenzwertes</b>	0,0048 %	—	—	—

\* unterhalb der Nachweisgrenze nach kerntechnischer Regel KTA 1503

\*\* unterhalb der Nachweisgrenze nach kerntechnischer Regel KTA 1504

So gibt es heute noch kein großtechnisches Verfahren, mit dem Spuren radioaktiven Tritiums aus dem anfallenden Abwasser entfernt werden können: Tritium ist in Wassermolekülen gebunden und gelangt auf diesem Wege in die Umwelt. Allerdings sind die Mengen äußerst gering; die Ableitungen werden kontrolliert und dürfen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten.

Auch die Edelgase Krypton und Xenon sowie das leichtflüchtige Jod nebst verschiedenen Aerosolen (luftgetragene Stoffe) lassen sich in Filtern und Verzögerungsstrecken nicht hundertprozentig festhalten, so dass eine kontrollierte Abgabe über den Kamin des Kraftwerks unvermeidlich bleibt, die aber im Regelfall unter einem Prozent der Genehmigungswerte bleibt. Die Menge der freigesetzten radioaktiven Stoffe ist insgesamt jedoch so gering, dass nach heutigen Erkenntnissen eine Schädigung der Umwelt ausgeschlossen werden kann.

Die Jahresgrenzwerte sind so bemessen, dass die von der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Werte für die Strahlenbelastung in der Umgebung deutlich unterschritten werden.

## 2.3 Umgebungsüberwachung von Kernkraftwerken

Die Umgebungsüberwachung von Kernkraftwerken ist seit 1979 durch eine Verordnung des Bundesinnenministers einheitlich geregelt. Nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ sind zwei Überwachungsprogramme auszuführen:

- ein Programm durch den Betreiber der Anlage
- ein ergänzendes und kontrollierendes Programm durch unabhängige Messstellen.

Die Immissionsmessungen des Betreibers konzentrieren sich auf den Nahbereich der Anlage und haben vor allem das Ziel, einen Vergleich mit den Emissionen (effektiv abgegebene Werte) zu ermöglichen, die durch Messeinrichtungen im Kraftwerk selbst kontrolliert werden.

Die behördlichen Messstellen überwachen auch im weiteren Umkreis der Anlage Luft, Boden und Gewässer. Darüber hinaus werden regelmäßig Proben von Feldfrüchten, Obst und Gemüse sowie von Milch und Fleisch auf ionisierende Strahlung untersucht. Alle Messergebnisse werden aufgezeichnet und tabellarisch geordnet, so dass eine lückenlose Dokumentation entsteht. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit veröffentlicht jährlich einen Bericht über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, in dem das Datenmaterial für Deutschland zusammengefasst ist. Dieses ist für jeden Interessierten beim BMU zu bekommen.

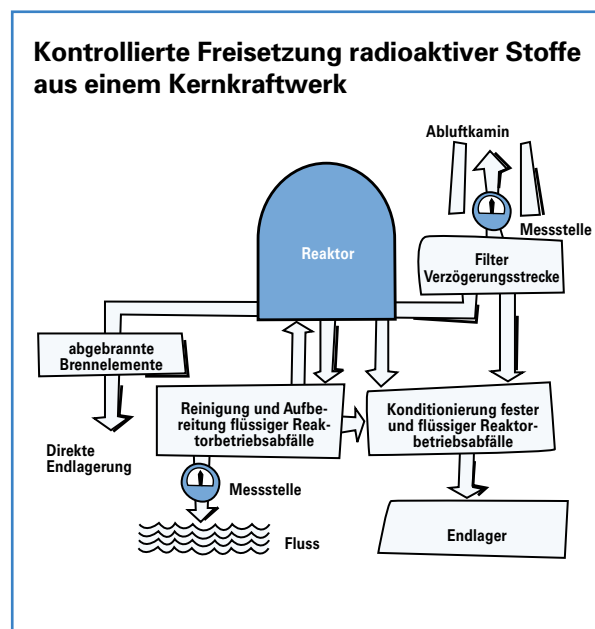
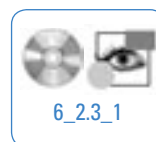
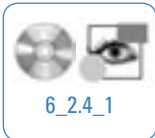


Abb.: 6\_2.3\_1

## 2.4 Sicherheit bei Transport und Zwischenlagerung radioaktiver Stoffe

Der weitaus größte Teil der radioaktiven Abfälle besteht aus schwach- und mittelaktiven Stoffen, die während des laufenden Betriebs der Kernkraftwerke anfallen. Diese Stoffe werden in zunehmendem Maße auf dem Kraftwerksgelände für eine Zwischen- und Endlagerung konditioniert, so dass die Zahl der Transporte von nicht aufbereitetem Rohabfall ständig zurückgeht. Für die unvermeidlich bleibenden Transporte gelten Sicherheitsbestimmungen, die behördlich überwacht werden. Aus technischer Sicht sind die heute angewandten Verpackungs- und Beförderungsverfahren so weit optimiert, dass für die Bevölkerung praktisch kein Sicherheitsrisiko besteht. Dies gilt



6\_2.4\_1

Abb.: 6\_2.4\_1



Brennelementlager Gorleben

auch für den Transport verbrauchter Brennelemente, die in ein Zwischenlager oder bis zum 30.6.2005 zur Wiederaufarbeitung gebracht wurden. Für diesen Zweck wurden spezielle Behälter entwickelt, die selbst unter extremen äußeren Einwirkungen (Fall, Hitze, Flugzeugabsturz) dicht bleiben und keine Radionuklide freisetzen. In diesen Behältern werden auch die verglasten hochradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung („Glaskokillen“) transportiert und zwischengelagert.

Im Juni 2000 vereinbarte die Bundesregierung mit der Elektrizitätswirtschaft, dass u. a. Standortzwischenlager an den Kraftwerksstandorten errichtet werden. Die Bundesregierung verspricht sich davon, dass die notwendigen Brennelement-Transporte – nach der Einstellung der Entsorgung über die Wiederaufarbeitung im Juli 2005 – auf die nächste Generation verschoben werden kann. Es sollen keine Brennelementtransporte mehr in die zentralen Zwischenlager in Ahaus und Gorleben erfolgen.



Brennelement-Zwischenlager Ahaus

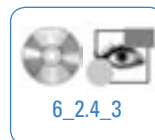
Abb.: 6\_2.4\_2

Die trockene Zwischenlagerung erfolgt in Deutschland in CASTOR®-Behältern. Diese sind etwa sechs Meter lang und bestehen aus einem Spezialguss mit einer Wandstärke von ca. 40 cm. Damit wird die Gammastrahlung deutlich reduziert. Die Moderatorstäbe in der Behälterwand bzw. die Moderatorplatte aus Polyethylen auf dem Primär-Deckel verringern entsprechend die Neutronenstrahlung. Zusätzlich werden an den Stirnseiten des Behälters für den Transport Stoßdämpfer angebracht.



6\_2.4\_2

Die CASTOR®-Behälter wurden in ihren Typenprüfungen extremen Belastungen ausgesetzt: z. B. Fallversuche aus neun Metern Höhe auf ein unnachgiebiges Fundament (zur Simulation größerer Fallhöhen), Beschuss mit einer Masse von 1.000 kg bei nahezu Schallgeschwindigkeit



6\_2.4\_3

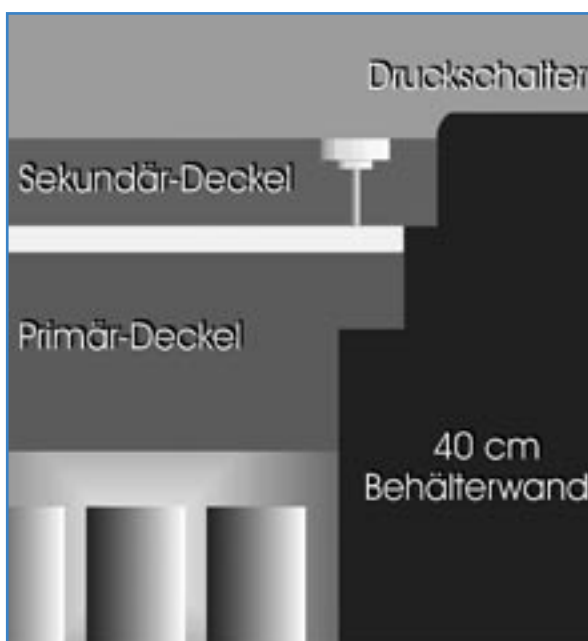


Abb.: 6\_2.4\_3

Der Castor®-Behälter ist durch ein kontrolliertes Doppeldeckelsystem gesichert



## 3 Regenerative Energien und Umwelt

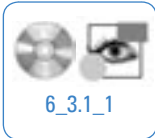
Vergleicht man die Belastungen der Umwelt durch die Nutzung von fossilen Energieträgern und von Kernenergie mit den Beeinträchtigungen, die durch regenerative Energien verursacht werden, so ergibt sich eine positive Bilanz für die Erneuerbaren. Dennoch ist auch deren Nutzung nicht vollständig frei von Einflüssen, die nachteilige Veränderungen der Umwelt bewirken können.

### 3.1 Eingriffe in die Umwelt durch Nutzung der Wasserkraft

In Deutschland werden derzeit rund 0,5 % des Bedarfs an Primärenergie bzw. 4,5 % des Strombedarfs aus Wasserkraft gedeckt. Das nutzbare Potential ist jedoch wesentlich größer, so dass Wasserkraftwerke einen Beitrag zur Lösung des Energieproblems leisten könnten.

Allerdings wird es immer schwieriger, geeignete Standorte für Wasserkraftwerke zu finden, die von der Bevölkerung auch akzeptiert werden. Insbesondere der Bau großer Staudämme hat in der Vergangenheit gezeigt, dass die damit verbundenen massiven Eingriffe in die Landschaft eine Vielzahl schwerwiegender und nicht voraussehbarer ökologischer Konsequenzen mit sich bringen können – der Assuan-Staudamm in Oberägypten ist das wohl bekannteste Beispiel dafür.

Die Errichtung von Laufwasserkraftwerken



6\_3.1\_1

Abb.: 6\_3\_1\_1



Stausee

vollzieht sich selten ohne erhebliche Einschnitte in die vorhandene Umwelt. Oft werden Flussläufe begradigt, Uferlandschaften überflutet; Staustufen, die nicht nur für die Stromerzeugung, sondern auch für die Schifffahrt wichtig sind, stellen ernsthafte Barrieren für die Wanderung der Fische dar.

Dennoch ist davon auszugehen, dass die großen Potenziale, die es vor allem in den Entwicklungsländern noch gibt, zunehmend erschlossen werden. Wegen des weltweit stark ansteigenden Energiebedarfs geht die Internationale Energieagentur allerdings davon aus, dass der Anteil der Wasserkraft an der Weltstromerzeugung trotz erheblicher absoluter Zuwächse sinken wird.

### 3.2 Windkraftanlagen und Umwelt

Windkraftanlagen werden zunehmend kontrovers in der Bevölkerung diskutiert. Der Anblick eines schnell laufenden Rotors mag zu der Frage führen, welches Risiko von einem abreißenden Rotorblatt ausgehen könnte. Obwohl ein solcher Unfall auch bei typgeprüften Anlagen nicht ausgeschlossen werden kann, liegt hierin keineswegs die eigentliche umweltpolitische Problematik von Windkraftanlagen. Auch Befürchtungen, dass zahlreiche Vögel durch die Rotoren verletzt oder durch den Lärm von ihren Brutplätzen verdrängt werden, haben sich als weitgehend unbegründet erwiesen.

Im Vergleich zu anderen Energieerzeugungssystemen gehören Windkraftanlagen zu den risikoärmsten. Die Primärenergie Wind verursacht weder Abgase noch feste Schadstoffe; alte Windkraftanlagen können problemlos abgebaut und die Materialien zumeist einer Wiederverwertung zugeführt werden. Probleme bereitet die Entsorgung der aus Glasfaserverbundstoffen (GFK) gefertigten Flügel. Die einzige Möglichkeit stellt die Pyrolyse dar. Damit ist die Zersetzung chemischer Verbindungen durch Einwirkung hoher Temperaturen gemeint. Allerdings zeigt sich hierbei, dass der hohe Glasfaseranteil verfahrenstechnisch problematisch sein kann. Die energetische Ausbeute bei einem solchen Verfahren ist im Vergleich zur Verbrennung sehr gering, da die gewonnenen Produkte lediglich Pyrolysegas und -öl sind und nicht Kunststoffprodukte.

Windkraftanlagen arbeiten allerdings nicht geräuschfrei; bedingt durch unterschiedliche Konstruktionsmerkmale können sie mehr oder minder laute Schallemissionen verursachen. Die aerodynamischen Rotorgeräusche lassen sich durch besondere Maßnahmen bei der Profilgestaltung der Rotorblätter reduzieren, völlig unterdrücken kann man sie jedoch



## 5 Energie- und Umweltpolitik

Der Staat hat von jeher Einfluss auf den Energiesektor genommen. Das reichte von der Schaffung von Gebietsmonopolen, der Förderung einzelner Kraftwerkstypen (z. B. über den Kohlepfennig), Erlass von Grenzwerten für Emissionen durch Kraftwerke bis heute über das Erneuerbare Energiengesetz, welche einen massiven Anreiz auf die Investitionen in Richtung erneuerbare Energien ausübt, oder der Steuerungen über gesetzliche Maßnahmen wie z. B. die Ökosteuern.

Internationale Vereinbarungen über die Reduzierung von Emissionen (Kyoto-Protokoll) haben eine weitere steuernde Funktion.

### 5.1 Politische Einflussnahmen

Auf der Konferenz der UN 1992 in Rio de Janeiro (Brasilien) haben sich die 170 Teilnehmerstaaten zu dem Leitbild einer „nachhaltigen Entwicklung“ verpflichtet. Damit sind u. a. völkerrechtliche Verpflichtungen im Klimaschutz gewachsen.

#### Nachhaltige Entwicklung:

„Nachhaltig ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“

Quelle: Brundtland-Kommission für Umwelt und Entwicklung

Fünf Jahre später, im Dezember 1997 wurde auf der UN-Klimakonferenz in Kyoto (Japan) das „Kyoto-Protokoll“ verabschiedet. Im Vertragstext sind verbindliche Ziele für die Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen festgeschrieben. Die Industrieländer verpflichten sich bis zum Zeitraum 2008–2012 ihre Treibhausgas-Emissionen um durchschnittlich 5,2 % unter das Niveau von 1990 zu setzen.

Der Vertrag konnte erst 2005 in Kraft treten, da vorausgesetzt wurde, dass er von mindestens 55 Ländern ratifiziert wird, die 1990 zusammen für mindestens 55 % der CO-Emissionen der Industrieländer verantwortlich sind. Detailfragen wurden anlässlich weiterer Konferenzen geklärt. Zur Verringerung der Treibhausgase sind neben den nationalen Maßnahmen drei Wege zulässig:

- Umsetzung der Reduktionsziele durch Emissionshandel
- Projekte zwischen Industrieländern („Joint Implementation“)
- Projekte in Entwicklungsländern („Clean Development Mechanism“).

So wurden Festlegungen getroffen, wie die Richtung der Reduzierungen erfolgt. Nach den Regelungen des Kyoto-Protokolls kann der im eigenen Land durch Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung gebundene Kohlenstoff mit den jeweiligen Emissionsreduktionsverpflichtungen verrechnet werden. Durch den Emissionshandel soll erreicht werden, dass die Treibhausgas-Emissionen auch kostengünstig verringert werden können. Das heißt: Wer Emissionen vergleichsweise preiswert vermeiden kann und dies über seine Verpflichtungen hinaus macht, kann Zertifikate auf dem Markt zum Verkauf anbieten. Diese wiederum können von emittierenden Unternehmen mit höheren Vermeidungskosten gekauft werden. Dadurch ersparen diese eigene teure Vermeidungsaktivitäten.

Bei Start des Emissionshandels in 2005 haben daran in Deutschland ca. 1.860 Anlagen der Energiewirtschaft und energieintensiven Industrie teilgenommen.

Aus dem Kyoto-Protokoll hat die Bundesregierung Handlungszwänge abgeleitet, die zu einer Verstärkung der Maßnahmen für die Entwicklung der Energiegewinnung aus regenerativen Quellen (vor allem Wind, Sonne und Biomasse) und der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) führt.

Durch steuerliche Anreize (Subventionen), durch garantierte Abnahmepreise für Strom aus regenerativer Quelle, die aber deutlich höher als der Marktpreis sind, werden Impulse für die Investition in diese Stromerzeugungsarten gesetzt.

### 5.2 Gesetzliche Grundlagen, z. B. Ökosteuern

Mit dem Instrument der Gesetzgebung steht dem Staat eine weitere Möglichkeit zur Verfügung, auf die Energieerzeugung bzw. den Energieverbrauch steuernd einzuwirken. In der Koalitionsvereinbarung von 1998 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands und Bündnis 90/Die Grünen heißt es u. a. in Kapitel 3 Moderne Energiepolitik: „Die neue Bundesregierung wird die Entwicklung zukunftsfähiger Energieversorgungssysteme und wirksame Maß-