

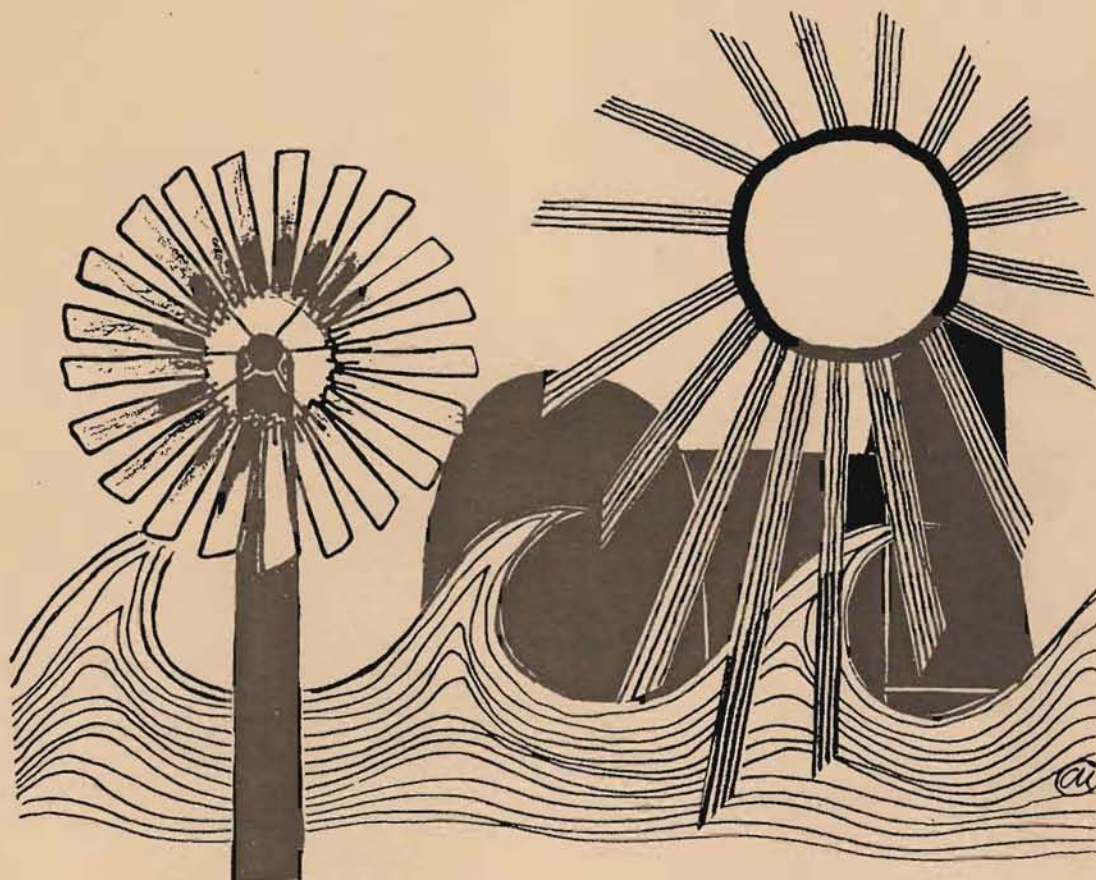
Landesinstitut
für Schule und Weiterbildung

Referat I/4

Fächerübergreifender Unterricht Naturwissenschaft (FUN)

"Umwelt erkunden - Umwelt verstehen"

Baustein "Energie und Umwelt"



Kontaktadresse:
Landesinstitut für Schule und Weiterbildung
Referat I/4
Paradieser Weg 64
59494 Soest
Tel.: 02921/683-257

Autor:
Armin Kremer

Gestaltung:
Ramona Marchitto

Grafik:
Angela Bender

Titelbild:
Christine Marwedel

5. Auflage
Soest, Oktober 1995

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Stellung des Materialbausteins im Curriculum "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen"	5
2. Vorbemerkung	7
3. Sach-/Problemstrukturskizze	8
4. Entdeckerbaum	14
5. Erfahrungsbericht	15
6. Anregungen für den Unterricht	16
6.1 Außerschulische Erkundungen	16
6.2 Bastel-/Bauvorschläge	16
7. Literatur - Filme - Adressen	17
8. Materialien zur Konzipierung eines Lehrganges	19
8.1 Was ist überhaupt Energie?	19
8.1.1 Energieformen	20
8.1.2 Energie-Umwandlungen	22
8.2 Wie wird Energie gemacht?	30
8.2.1 Anwendungsbereiche von Energie	30
8.2.2 Wie wird Energie gespeichert?	33
8.2.3 Der Transport von Energie	36
8.2.4 Umwege bei der Energiegewinnung	41
o Der Wärmeumweg	42
o Energieumwandlungen und -umwandlungsverluste beim Auto und Kraftwerk	47
8.2.5 Der Bewegungsumweg	50
8.3 Energieversorgung heute	53
8.3.1 Energiebilanz der Erde	53
8.3.2 Energiequellen	54
8.3.3 Verteilung, Endenergien, Nutzenergien, Energiedienstleistung	55

	Seite
8.3.4 Bessere Energienutzung	62
o Kochen mit Gas oder Strom?	62
o Der Stromverbrauch in unserem Haushalt	64
o Hohes Stromeinsparungspotential bei Haushaltsgeräten: Beispiel Waschmaschine	65
o Tips zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs	68
o Wärmeschutz durch Baustoffe	69
8.4 Gefahren der Energieversorgung	71
8.4.1 Gefahren der fossilen Brennstoffe	71
8.4.2 Umwelt und Verkehr	74
8.4.3 Gefahren der Kernenergie	76
o Sach-/Problemstrukturskizze "Risiko Kernkraft"	76
o Kernspaltung	78
o Radioaktive Strahlung	80
o Wirkung radioaktiver Strahlung auf Lebewesen	82
o Wie gelangt Radioaktivität in den menschlichen Körper?	84
o Die Sache mit den Grenzwerten	85
8.4.4 Atomwirtschaft	86
o Atomwirtschaft international	86
o Atomwirtschaft gesamtdeutsch	87
8.4.5 Die öffentliche Meinung. Oder: Die öffentlichen Meinungen?	87
8.4.6 6 Jahre nach Tschernobyl	89
8.4.7 Ein unfreiwilliger Großversuch	90
8.4.8 Atomkraft: Die Klima-Lüge	92
8.5 Regenerative Energien	98
8.5.1 Sollartechnologie	98
o Sonnenkollektor	98
o Schema einer Anlage zur solaren Warmwasserbereitung mit Kollektoren	100
o Bau einer kleinen Solaranlage mit Schwerkraftzirkulation	101
o Wärmepumpe	111
o Die Arbeitsweise der Wärmepumpe	113
o Solarzelle	121
8.5.2 In Almeria zeigt die Sonne, was sie kann	122
8.5.3 Sonnenenergie und Ökonomie	124
8.5.4 Solarenergie als Entwicklungshilfe?	126
8.6 Windenergie	128
8.6.1 Die Nutzung der Windenergie ist jahrhundertealt	128
8.6.2 Bau eines Windrades	130
8.6.3 Windenergie und Ökonomie	132
8.7 Gezeitenkraftwerk	134
8.8 Nutzung der Erdwärme	136
8.9 Bau einer Biogasanlage	137

1. Stellung des Materialbausteins im Curriculum "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen"

Das Entwicklungskonzept "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" versteht sich als Fortführung und Erweiterung von Ansätzen zum fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht. Bewußt wird in dieser Konzeption die Tradition des "Koordinierten Naturwissenschaftlichen Unterrichts" (KoNaWi) aufgenommen mit der Perspektive neue Wege zu finden, naturwissenschaftlichen Unterricht so zu verändern, daß durch mehr Lebensbezug eine höhere Akzeptanz und Lerneffektivität erreicht wird.

"Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" bezieht sich vorläufig nur auf die Jahrgangsstufen 5 - 7 an Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen. In diesen Jahrgängen bestehen relativ große Freiräume, die eine Erprobung von "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" wesentlich erleichtern. Wie die bisherigen Erfahrungen aus der Schulpraxis gezeigt haben, ist der Einsatz von Bausteinen von "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" auch in den Jahrgangsstufen 8 - 10 sinnvoll.

1989 begann am Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Soest) eine Arbeitsgruppe, die Konzeption eines offenen und fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts zu entwerfen. Begleitend entwickelte die Arbeitsgruppe bisher Materialbausteine zu den Themenbereichen "Wasser", "Sinne", "Umgang mit Tieren", "Feuer", "Umgang mit Pflanzen", "Wetterbeobachtung - Klima - Klimagefahren" und "Energie und Umwelt". **Im Unterschied zu den bisherigen Materialbausteinen handelt es sich bei letzteren um eine Zusammenstellung von Materialien zur Konzipierung eines Lehrgangs (ausf. s. S. 19).**

Die didaktische Konzeption für den Unterricht und die Entwicklung der Materialbausteine orientieren sich an fünf Strukturelementen (vgl. "Arbeitskonzept zur Entwicklung eines Curriculums für die Jahrgänge 5 - 7"):

- o Lebenswelt,
- o Natur/Technik/Umwelt,
- o Offenheit,
- o Entgegenwirken *ungünstiger* Sozialisierungseffekte und Förderung von Bedürfnissen und Interessen von Mädchen,
- o pädagogisches Profil der Gesamtschule.

Das Element Offenheit bestimmt zudem wesentlich die Materialstruktur der Materialbausteine, d.h. die angebotenen Materialien (Experimente, Texte, Spiele, Bastelanleitungen ...) stellen weder Beschreibungen von Unterrichtsstunden dar, noch handelt es sich um die Vorstellung linearer Unterrichtseinheiten. Sie sind vielmehr als Vorschläge, Ideen und Anregungen zu verstehen, Unterricht zu planen. Die offene Form der Materialstruktur ergibt sich notwendig aus der Absicht, Schülerinnen- und Schülerinteressen, regionale und aktuelle Bezüge als zentrale Entscheidungskriterien bei der individuellen Themenfindung und Unterrichtsgestaltung in den Vordergrund zu stellen.

Die Sach-/ Problemstrukturskizze, die jeweils den Materialien vorangestellt ist, versteht sich als eine von mehreren Orientierungsmöglichkeiten für methodisch-didaktische Entscheidungen bei der Themenauswahl und konkreten Unterrichtsplanung.

"Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" soll kein Curriculum werden, das irgendwann detailliert naturwissenschaftlichen Unterricht beschreibt. Vielmehr wird ein offenes Cur-

riculum angestrebt, das auf der Basis von Unterrichtspraxis Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten für Unterricht aufzeigt. Nur unter der Beteiligung von Kolleginnen und Kollegen an den Schulen kann diese Zielsetzung verwirklicht werden. Wir hoffen daher, über die bereits vorgelegten Bausteine Kontakte zu interessierten Lehrerinnen und Lehrern zu knüpfen, und so einen diskursiven Prozeß des Austausches und der Kooperation zwischen Unterrichtspraktikerinnen und -praktikern sowie der Arbeitsgruppe in Gang zu setzen. In diesem Sinne sind die von der Arbeitsgruppe bereits entwickelten Materialbausteine als Angebot zu verstehen, das durch ihre Erfahrungen und Ideen verändert und ergänzt werden soll.

Wir möchten daher alle Lehrerinnen und Lehrer, die im Lernbereich Naturwissenschaften unterrichten, zur engagierten Mitarbeit einladen.

Ihre Erfahrungen und Ihre Themengestaltungen sind ein wichtiges Element der Materialstruktur. Sie werden als Umsetzungsbeispiele in die überarbeiteten Curriculumbau- steine aufgenommen. Solche Beschreibungen in Form von Projektskizzen oder kurzen Berichten bündeln nicht nur Unterrichtserfahrungen, sondern relativieren, akzentuieren und verändern die Konzeption eines neuen naturwissenschaftlichen Unterrichts. Die Überarbeitung der Bausteine im Verlauf des diskursiven Prozesses sichert nicht nur schulische Erfahrungen, sondern macht diese wiederum anderen Lehrerinnen und Lehrern zugänglich.

Wir, die Arbeitsgruppe, würden uns freuen, wenn wir in Kooperation mit Ihnen einen dynamischen und offenen Prozeß der Curriculum- und Materialentwicklung für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Gang setzen können.

Wir sind daher gespannt auf jede Rückmeldung von Ihnen in Form von:

- o Erfahrungsberichten
- o Kritik
- o Meinungen
- o Materialien
- o Vorschlägen
- o Projektskizzen
- o Wünschen
- o Lob
- o Ideen
- o ...

Nehmen Sie Kontakt mit uns auf!

Landesinstitut für Schule und Weiterbildung
Referat I/4
Paradieser Weg 64
59494 Soest
Tel.: 02921/683-257

Ansprechpartnerin:
Ansprechpartner:

Christine Marwedel
Dr. Armin Kremer

2. Vorbemerkung

"Schon wieder eine Unterrichtseinheit zum Thema "Energie", werden jetzt viele sagen. Natürlich, es gibt schon etliche Unterrichtseinheiten zu diesem Themenkomplex, für jeden Jahrgang und fast für jedes Unterrichtsfach. Dennoch, das Thema verliert nichts an Aktualität. Wer hätte gedacht, daß die bundesdeutsche Atomindustrie ernsthaft darüber nachdenkt, aus der *Atomenergie auszusteigen*? Allein über die Gründe nachzudenken und über - längst notwendige - Energiealternativen, macht es sinnvoll, dieses Thema im naturwissenschaftlichen Unterricht (wieder) aufzugreifen.

Ein *Entweder - Oder* bringt eine Vielfalt an Anwendungsmöglichkeiten zur Beschreibung dieses Themas mit sich, es zeigt, wie notwendig es ist, sich ständig mit diesem brisanten gesellschaftlichen Thema auseinanderzusetzen.

Hier einige Beispiele:

- Kernenergie contra Wind-/Sonnenergie,
- mit Kernenergie gegen das "Ozonloch!",
- Fahrrad contra Auto,
- Güter auf die Bahn statt LKWs auf der Autobahn.

Diese Beispiele lassen sich in viele Unterrichtsthemen einbetten, sie verdienen es aber auch, zum eigentlichen Unterrichtsinhalt zu werden.

Bitte beachten Sie!

"Im Alltag, in den Massenmedien, in den Informationen der Energiewirtschaft wird insgesamt gesehen eine Energiesprache gesprochen, die beinahe zwangsläufig zu Mißverständnissen führt, wenn man genauer beleuchtet, was der jeweilige Gebrauch bedeutet. Beispiele für diese Sprache bietet jedes Informationsmaterial zur Energieversorgung in beliebiger Fülle. Unsere Schüler wachsen in dieser Energiesprache gewissermaßen auf. Es ist deshalb im Physikunterricht zwecklos, dort verwendete Ausdrücke ganz anders zu benutzen. Wir müssen im Physikunterricht vielmehr unsere Schüler darauf aufmerksam machen, wie diese öffentliche Energiesprache gemeint ist. Bei der elektrischen Energie ist dafür Gelegenheit."

R. Duit: Elektrische Energie - Bemerkungen zu einem unscharf verwendeten Begriff. In: NiU-Physik, H 3/1992, S. 12.

3. Sach-/Problemstrukturskizze

Die Versorgung mit Energie stellt einen zentralen Lebensbereich moderner Industriegesellschaften dar. Sie bestimmt im wesentlichen Ausmaß die Qualität unseres Lebens.

Energie wird für vielfältige Produktionsprozesse benötigt, für Personen- und Gütertransporte, für behagliches Wohnen und vieles mehr. Jede dieser Energiedienstleistungen ist mit einem Energieverbrauch verbunden, dessen Höhe von der Effektivität der eingesetzten Nutzungstechniken, also des Heizungssystems, des Kühlschranks oder des Verkehrsmittels abhängt. Der dafür erforderliche Energiedurchfluß ist somit beeinflussbar, je nachdem, wie sorgfältig und geschickt die Technik konstruiert wurde.

Erst die Erdölkrisen der siebziger Jahre und die damit verbundenen Preiserhöhungen im Energiesektor ließen die rationelle Nutzung von Energie zu einem allgemein akzeptierten Gesellschaftsziel werden. Seither haben sich die Probleme der Energiewirtschaft, insbesondere die von ihr ausgelösten Umweltbelastungen, weiter zugespitzt. Die derzeit praktizierte Energieversorgung leistet einen verhängnisvollen Beitrag zur zunehmenden Verschärfung der Umweltkrise. So ist etwa vorwiegend in Folge von Verbrennungsprozessen (einschließlich Verkehr) bereits zwei Drittel des deutschen Waldbestandes erkrankt und zum Teil bereits irreparabel zerstört (BUND-Presse-Mitteilung Okt. 1992).

Es wächst die akute Bedrohung durch Verseuchung von Luft, Wasser, Boden, Tier und Mensch. Diese Tatsachen sind in den letzten Jahren immer deutlicher in das Bewußtsein der Bevölkerung vorgedrungen, was sich in (z.T. erfolgreichen) Protesten gegen diverse (Kern-)/Kraftwerksprojekte, Wiederaufbereitungsanlagen oder solche Großtechnologie-Projekte wie der Rhein-Main-Donau-Kanal manifestierte.

Gleichzeitig hat die Umweltthematik auch Eingang in die Partei- und Regierungsprogramme gefunden und wo der Handlungsdruck schließlich besonders groß wurde, versuchte man sogar verursachte Schäden zu reduzieren. Die meisten dieser Maßnahmen stellen allerdings bloß nachgeschalteten, symptomatischen Umweltschutz dar. Insgesamt nicht-umweltverträgliche Produktions-, Verbraucher- und Verkehrsstrukturen werden mit sogenannten end-of-the-pipe-Techniken versehen, die die Umweltbeeinträchtigungen nachträglich mindern sollen:

- Rauchgasfilteranlagen,
- Abgaskatalysatoren,
- Heizölentschwefelung,
- usw.

Solche Maßnahmen sind jedoch nicht ausreichend und können das Problem zum Teil nur verlagern. Statt das Schadstoffe in die Luft abgegeben werden, erfolgt nun eine stärkere Belastung von Böden und Gewässern. Das eigentliche Problem - der exzessive Energieverbrauch - wird nicht in Angriff genommen. Ein grundlegender Strukturwandel etwa hin zu energieärmeren Wirtschaftsstrukturen als notwendige Voraussetzung für wirksamen Umweltschutz findet weiterhin nicht statt.

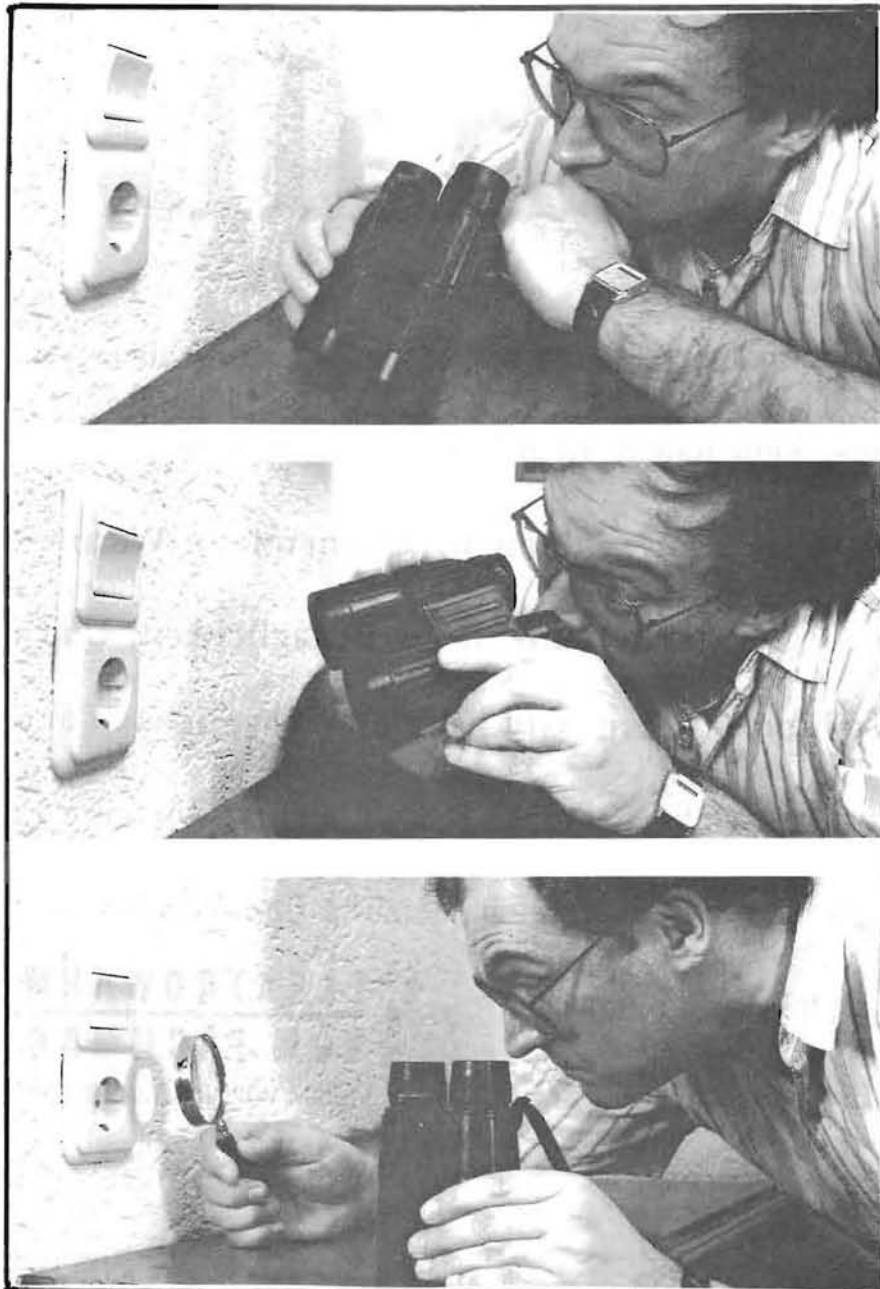
Die ineffiziente Energieversorgung, wie wir sie heute erleben, führt zwangsläufig auch zu einer überhöhten Energiekostenbelastung des Staatsbudgets und der privaten Haushalte. Die sinkenden Energiepreise nach dem Ölpreisverfall im Frühjahr 1986 führten zwar zu einer vorläufigen Entlastung bei den Energiekosten, sie verdecken jedoch auch den Blick auf die Probleme der Energiewirtschaft. Ohne eine entsprechende

Wende in der Energiepolitik ist die nächste Energie- und Umweltkrise schon vorprogrammiert.

Nicht der Mangel an Energie bereitet Sorgen, sondern der Überfluß. Der bekannte Energiewissenschaftler Amory Lovins hat diese Situation folgendermaßen beschrieben: Wenn man in einer Badewanne sitzt, aus der ständig warmes Wasser ausläuft, was braucht man wohl dringender? Einen dichten Verschußpfropfen oder einen stärkeren Boiler? Wir sitzen heute - bildlich gesprochen - in einer Badewanne mit sehr vielen undichten Stellen.

Die herrschende Energiewirtschaft kümmert das offensichtlich wenig. Ihr Engagement erschöpft sich in zynischen Spar-Appellen und in millionenschweren Werbekampagnen, die uns ständig neue und stärkere Boiler einreden.

Die Propaganda für die "saubere" Stromheizung ist dafür das beste Beispiel (s. S. 10).



Anzeige

Ohne Rauch und Schall.

Verbrennungsfreies Heizen mit Strom ist eine saubere Sache im Haus: Kein Rauch. Kein Ruß. Und lautlos in der Nacht. Die 100%ige Umwandlung dieser Energie in Wärme im Raum sorgt sogar für finanzielle Behaglichkeit. Und da es Strom immer geben wird, ist diese Behaglichkeit auch in Zukunft gesichert. Fragen kostet nichts: Für eine individuelle Lösung im Bereich Heizung und Warmwasserbereitung mit Strom berät Sie gerne Ihr Elektrofachmann.



**ELEKTROWÄRME
VOM FACHMANN**

DENN STROM WIRD ES IMMER GEBEN

Sach-/Problemstrukturskizze

Lebensweltliche Aspekte

- o "Gesparte Energie - gespartes Geld?"
- o Berufsarbeiten im Energieerzeugungs- und Energieversorgungsbereich.
- o Energieerzeugung/Energieversorgung und Gefahren.
- o Energiepolitik und Energiewirtschaft: "Von der Atombombe zum Kernkraftwerk".
- o Klimagefahren.
- o Energetische Alternativen.

Die Sach-/Problemstrukturskizze versucht einen Überblick zu geben über den verlustreichen Weg "Von der Primärenergie zur Nutzenergie".

Die Sach-/Problemstrukturskizze steckt keineswegs den Rahmen für das unterrichtliche Vorgehen ab. Sie soll vielmehr den Unterrichtenden als Hilfestellung für die thematische Planung, Auswahl, Veränderung und Verknüpfung ihrer Arbeit dienen.

Aufgrund der Komplexität der Energieproblematik wird man das Thema "Energie und Umwelt" nur ausschnitthaft, wenn möglich aber auch exemplarisch behandeln. Die "Lebensweltlichen Aspekte" sollen dazu Anregungen bieten, ebenso die Assoziationen von Schülerinnen und Schülern zum Thema "Energie" (s. Entdeckerbaum, S. 14).

Natur-Energie

Gewinnung, Aufbereitung

Primär-Energie

Umwandlungen

End-Energie

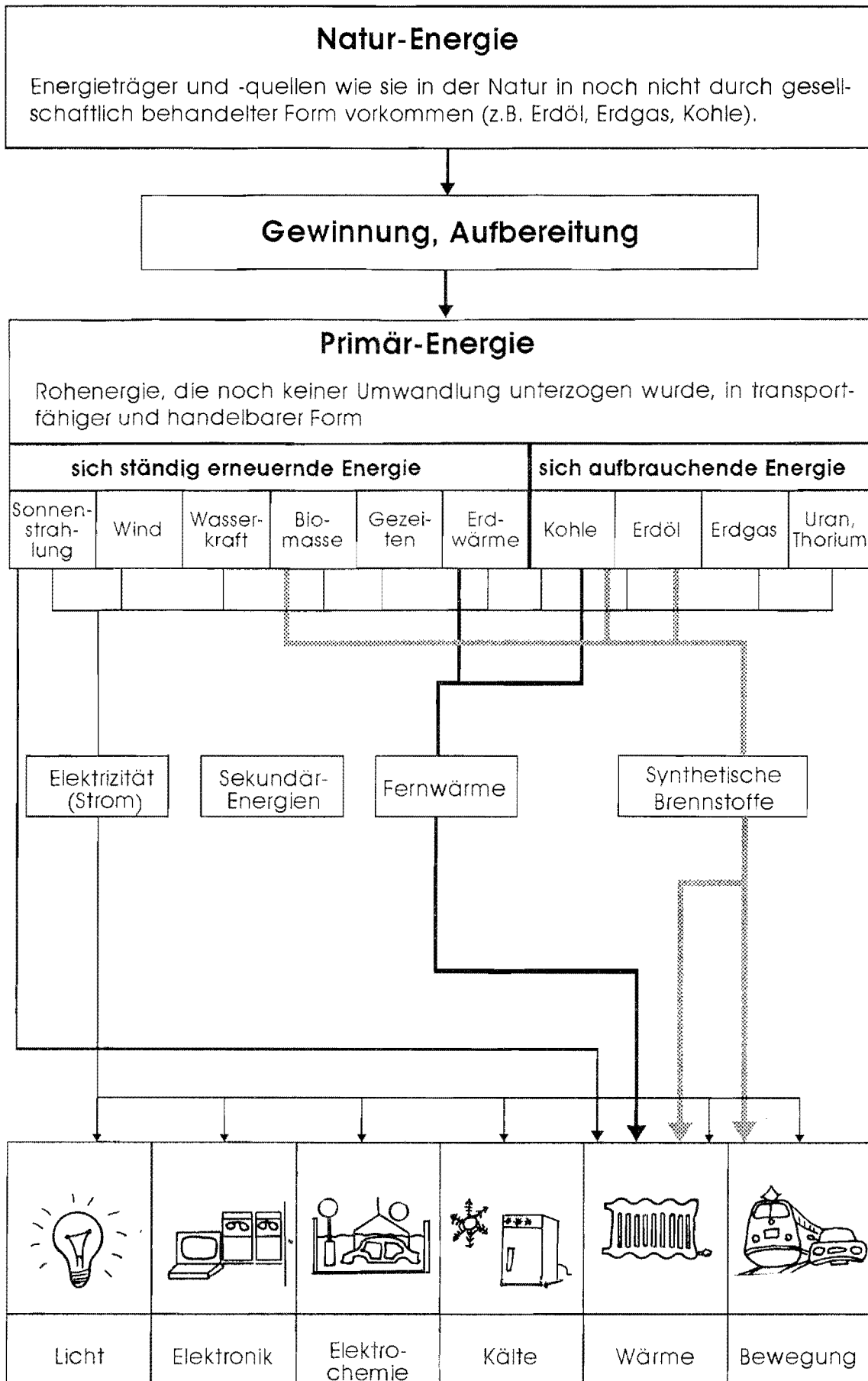
Energie in der Form und Menge, wie sie dem Endverbraucher (Haushalt, Industriebetrieb ...) geliefert wird.

Anwendung

Nutz-Energie

Energie in der Form und Menge, wie sie letztlich in die Produktion eingeht. Der Beitrag zur Produktion ist die Endenergienutzung.

Von der Primärenergie zur Nutzenergie



5. Erfahrungsbericht

"Wofür brauchen wir Energie?" ist eines der Themen für eine Unterrichtseinheit, das von der Fachkonferenz Physik für den 8. Jahrgang empfohlen wird. Da an der Schule der Unterricht in den Naturwissenschaften immer noch in getrennten Fächern erfolgt (Physik, Chemie und Biologie), wurde von der Fachkonferenz Physik den Kolleginnen und Kollegen freigestellt, das Thema fächerübergreifend zu behandeln.

Das fächerübergreifende Prinzip hat sich im Fachunterricht in zweifacher Weise bewährt. Zum einen *zwingt* es die Fachkollegin bzw. den Fachkollegen über den Fachhorizont zu denken, d.h. auch über technische, ökologische, politische oder ethische Fragen nachzudenken. Zum anderen kommt es den Interessen, Bedürfnissen und Fähigkeiten der Schülerinnen und Schülern entgegen, mehr *ganzheitlich* zu lernen, im Sinne mit Kopf, Herz und Hand.

Das Themenheft "Energie und Umwelt" stellt gutes Basismaterial zu den Begriffen Energie, Energieformen und Energieumwandlung dar. Die Erfahrungen im Umgang mit den Texten zeigten, daß den Schülerinnen und Schülern diese Begriffe in sehr anschaulich-praktischer Art und Weise erschlossen werden konnte. Dies ermöglichte ihnen, ihre außerschulisch erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten produktiv in den Unterricht einzubringen. Nur einige Schüler (keine Schülerin) zeigten Interesse an einer eingebundenen physikalischen oder chemischen Durchdringung des Energiebegriffs. Das Interesse war umso größer bei den Themen "Gefahren bei der Energiegewinnung und bei Energieumwandlungen" und "Alternative Energien".

Insbesondere die Mädchen waren überraschend gut informiert über die Gefahren, die von den Atommeilern in der ehemaligen Sowjetunion ausgehen und über die Risiken bei deutschen Kernkraftwerken. Die Mädchen arbeiteten begeistert mit den Materialien zum Thema "Risiko Kernkraft" und hielten den Jungen hierüber kleine Vorträge.

6. Anregungen für den Unterricht

6.1 Außerschulische Erkundungen

- o Besuch des *Lernortes* Kraftwerk (konventionelles Kraftwerk, Kernkraftwerk),
- o Besuch eines Wasserkraftwerks/Stausees,
- o Besuch des *Lernortes* Biogasanlage (zu finden in Landwirtschaftsbetrieben),
- o Besuch des *Lernortes* "Windkraftwerk",
- o Erkundungen von Produktions-/Arbeitsprozessen, bei denen Energie *verbraucht* wird:
 - Industriebetrieb am Fluß,
 - Windmühlen,
 - Mühlen an Bächen,
 - Wasserräder an Bächen für den Betrieb von Hammerwerken (Schmiede).
- o Erkundung des Energie-Verbrauchs im Haushalt/Haus (Heizung, Strom, ...),
- o Erkundung von Energie-Kosten-Sparmaßnahmen im Haushalt/Haus (Heizung, Strom, ...).

6.2 Bastel-/Bauvorschläge

- o Bau eines Windradmodells,
- o Bau einer Modell-Biogasanlage,
- o Bau eines Modell-Wasserkraftwerks/Wasserrades,
- o Bau von Solarmodell-Autos, -Hubschrauber, -Booten.

7. Literatur - Filme - Adressen

7.1 Literatur

Bundesministerium für Forschung und Technologie (Referat für Öffentlichkeit) (Hg.): Erneuerbare Energien. Bonn 1992.

Bundesminister für Wirtschaft. (Referat Öffentlichkeitsarbeit) (Hg.): Energie Daten '91. Bonn September 1992. (Bezug: Postfach, 5300 Bonn-Duisdorf)

Bundesministerium für Wirtschaft (Hg.): Heizkosten sparen - Umwelt schonen. Bonn 1990.

Bundesumweltministerium. (Referat Öffentlichkeitsarbeit) (Hg.): Die Sicherheit Deutscher Kernkraftwerke. Bonn 1991². (Bezug: Postfach 120629, 5300 Bonn 1)

Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.): Informationen zur politischen Bildung. Themenheft "Energie" (Nr. 234) 1992. (Bezug: Franzis-Druck GmbH, Postfach 150740, 8000 München 15).

A.-M. Drexler: Energie für helle Köpfe. Thema "Windenergie". Ravensburg o.J. (Bezug: VEW AG Hauptverwaltung, Schulinformation, Rheinlanddamm 24, 4600 Dortmund 1).

M. Gorholt, R. Ludwig (Hg.): Rettungsversuche. Der ökologische Umbau der Industriegesellschaft. Marburg 1990.

M. Grupp: Umschalten! Energiefibel. Reinbek 1980.

K. Handschuh: Windkraft gestern und heute. o.O. 1991.

Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e.V. (IZE) (Hg.): Stromthemen Nr. 11/1992.

H. Krawinkel: Für eine neue Energiepolitik. Was die Bundesrepublik Deutschland von Dänemark lernen kann. Frankfurt/Main 1991.

A. Kremer, L. Stäudel: Risiko Kernkraft. Sozmat Materialien für den Unterricht, Band 22. 2 erw. u. akt. Auflage. Marburg 1989.

K. Kreß, H. Mikelskis, H. Müller-Arnke, W. Reichenbacher: Energie. Regenerative Energiequellen und alternative Energietechnologien. Frankfurt/M. 1984.

Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Hg.): Projektorientierter Unterricht an Hauptschulen. "Energie - das geht uns alle an". Soest 1989. (Bezug: Postfach 1754, 59494 Soest).

R. Pieper: Energie aus Kuhmist und Stroh. In: Westermanns Pädagogische Beiträge H 9/1982, S. 382 - 385.

RWE Energie AG (Hg.): Energie und sinnvolle Energieanwendung (Lehrerfachheft). Düsseldorf 1991⁷. (Bezug der RWE-Publikationen: Abt. Öffentlichkeitsarbeit und Information, Kruppstr. 5, 4300 Essen 1).

H. Schuhmann: Atomkraft: Die Klima-Lüge. Greenpeace-Magazin H 1/1992, S. 28 - 31.

D. Seifried: Gute Argumente: Energie, München 1986.

Siemens AG (Hg.): Standpunkt. H3/1992.

Wie funktioniert das? "Die Umwelt des Menschen". Mannheim 1989.

Umweltbundesamt: Klimaveränderung und Ozonloch. Zeit zum Handeln. Berlin 1992. (Bezug: Bismarckplatz 1, 1000 Berlin 33).

7.2 Filme

Die Wärmepumpe - ihre physikalische Wirkungsweise. FWU 380322/323025, 1976.

Energieverwendung in der Bundesrepublik - Daten und Fakten. FWU 380388, 1985.

Kohlekraftwerke und Umwelt - Rauchgasreinigung. FWU 3203990, 1989.

Solarzellen-Strom aus Sonnenlicht. FWU 3210034, 1990.

... zum Beispiel Stormverbrauch, Energiesparen im Haushalt. FWU 323515/380423, 1984.

7.3 Adressen (Energieversorgungsunternehmen)

Arbeitskreis Schulinformation Energie, Am Hauptbahnhof 12, 6000 Frankfurt 1.

Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e.V., Am Hauptbahnhof 12, 6000 Frankfurt 1.

Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e.V., Stresemannallee 23, 6000 Frankfurt 70.

Informationskreis Kernenergie im Deutschen Atomforum e.V., Heussallee 10, 5300 Bonn 1.

Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk AG, Hauptverwaltung, Kruppstr. 5, Postfach 10 31 65, 4300 Essen 1.

Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG, Hauptverwaltung, Bereich Information, Rheinlanddamm 24, Postfach 941, 4600 Dortmund 1.

8. Materialien

Bei der Konzeption der Materialien ist der Versuch unternommen worden, das Thema "Energie" nicht im naturwissenschaftlich strengen Sinne zu behandeln - so wie es traditionellerweise im naturwissenschaftlichen Fachunterricht geschieht -, sondern Anschauungen und Vorstellungen aus dem Alltag *rund um den Energiebegriff* sollten möglichst ohne tiefgehende Physikalisierung und Mathematisierung zu einem *differenzierten* Verständnis und Wissen energetischer Betrachtungen erweitert werden.

Das soll natürlich nicht heißen, daß man im Unterricht nicht zu naturwissenschaftsparadigmatischen Betrachtungen vordringen soll. Wenn deren Erklärungsmächtigkeit den Schülerinnen und Schülern verdeutlicht und einsehbar gemacht werden kann, und das ist gleichbedeutend damit, daß ihnen der Gebrauchswert von Fachwissen und -kenntnissen erfahrbar gemacht wird, spricht nichts dagegen.

Die Materialien werden diesem Anspruch insofern gerecht, als sie zu fachparadigmatische Betrachtungen und Klassifikationen vordringen (siehe z.B. die Ausführungen über den 1. und 2. Hauptsatz, das Atommodell und Radioaktivität).

Die Lehrerin bzw. der Lehrer allein kann nur entscheiden, wie weit er zu solchen Fachparadigmen vordringen will und kann. Das hängt nicht zuletzt davon ab, in welcher Jahrgangsstufe das Thema "Energie und Umwelt" behandelt werden soll, und welches Lernleistungsprofil die Schülerinnen und Schüler haben.

Die Materialien sind mehrheitlich für die Hand der Lehrerin bzw. des Lehrers konzipiert; sie sollen insbesondere die fachfremd unterrichtende Kollegin bzw. den fachfremd unterrichtenden Kollegen den Zugang zu der zugrundegelegten Betrachtungsweise erschließen.

Nur wenige Materialien sind als Arbeitsmaterialien für Schülerinnen und Schüler strukturiert oder ausgearbeitet. Das wird von einigen sicher als Nachteil empfunden, ist jedoch dem Unstand geschuldet, daß die Materialien bisher nur in wenigen Teilen im Unterricht eingesetzt und anschließend redaktionell überarbeitet worden sind (siehe Erfahrungsbericht S. 15). Die Ausarbeitung von Schülerinnen- und Schülerarbeitsblättern und Versuchsanleitungen war dabei von untergeordneter Bedeutung.

Die Materialien dienen zur Konzeptionierung eines Lehrgangs "Energie und Umwelt". Die Materialien problematisieren dieses Thema unter verschiedenen Aspekten, so daß es der Lehrerin und dem Lehrer bzw. den Schülerinnen und Schülern überlassen bleibt, unter welchen Aspekten das Thema behandelt werden soll. Tips hierfür siehe die "Sach-/Problemstrukturskizze" (S. 8ff) und die "Anregungen für den Unterricht" (S. 16).

8.1 Was ist überhaupt Energie?

Jeder weiß so ungefähr, was Energie ist. Wenn man morgen aufsteht nach einer langen Nacht, ausgeschlafen, die Sonne scheint, man freut sich auf den Tag, dann ist man "voller Energie" (leider gibt es von diesen Tagen immer noch viel zu wenige). Mit dieser Energie kann man dann die verschiedensten Sachen machen: Fußballspielen, den Garten umgraben, tanzen, sich fortbewegen. Allgemein ausgedrückt, kann man mit dieser Energie Arbeit verrichten.

Und was ist Arbeit?

Arbeit ist immer dann nötig, wenn irgend etwas nicht von selbst passiert. Am Beispiel des Gartens, der umgegraben werden soll: die Erde im Garten gräbt sich nicht von selbst um. Man muß einen Spaten hineinstecken, ein Stücke Erde lösen, hochheben und auf die richtige Stelle fallenlassen. Bei jedem dieser Schritte muß man *gegen einen Widerstand* (oder, physikalisch gesprochen, gegen eine Kraft) *ankämpfen*: das ist das Kennzeichen von Arbeit. In diesem Sinne bedeutet auch Spiel Arbeit. Stellt man mit dem Fußball nichts an, wird er solange auf der Wiese liegen bleiben, bis er verfault ist. (Wenn er nicht gerade aus Kunststoff hergestellt ist.) Erst wenn man ihn tritt, geht's los; man wird den Widerstand, gegen den man dabei ankämpfen muß, um so deutlicher spüren, je schwerer der Ball ist.

Man kann an diesem Beispiel auch sehen, daß Arbeit nicht unbedingt etwas mit Menschen (oder Tieren) zu tun hat: Auch Dinge können Arbeit verrichten. Nehmen wir an, wir haben dem Ball einen Stups gegeben, und er rollt auf der Wiese. Dabei wird er Grashalme flachlegen. Diese Grashalme setzen einen (schwachen) Widerstand entgegen; sie wollen aufrecht stehen. Wir sehen, der rollende Ball - ein Ding - verrichtet Arbeit.

Das Praktische an Energie ist nun, wie sich noch zeigen wird, daß man mit ihr nicht nur bestimmte Arbeiten verrichten kann, sondern im Prinzip alle. "Im Prinzip" heißt: Die Arbeit darf nicht aus irgendeinem Grund unmöglich sein. Beispielsweise braucht man, um einen Drachen zu besiegen, nicht nur Energie, sondern auch einen Drachen ...

Halten wir also fest: **Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.**

Energie ist sehr vielseitig. Mit Energie kann man nicht nur (fast) jede Arbeit verrichten, sie kann auch in verschiedenen Formen auftreten.

8.1.1 Energieformen

Bewegungsenergie

Das ist die Energie, die beispielsweise in einem fahrenden Zug steckt. Sie zeigt sich am eindrucksvollsten, wenn der Zug entgleist: dann verrichtet diese Energie Arbeit, indem sie den Zug in Schrott verwandelt (denn auch Zerstörung bedeutet physikalisch gesehen Arbeit). Je schneller der Zug fährt, um so größer ist die Energie, die in ihm steckt.

Fährt er doppelt so schnell, ist die Energie nicht doppelt, sondern viermal so groß, fährt er viermal so schnell, ist die Energie sogar sechzehnmal so groß. Will man das mathematisch ausdrücken, sagt man, daß die Bewegungsenergie eines Körpers vom Quadrat der Geschwindigkeit (das ist die Geschwindigkeit, multipliziert mit sich selbst) abhängt. Diese Bewegungsenergie kann man speichern. Sie heißt dann:

Potentielle Energie oder Lage-Energie

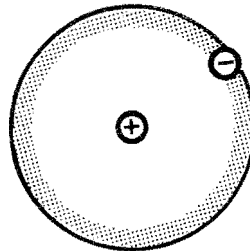
Nehmen wir an, wir wollen den Zug vernünftigerweise nicht entgleisen lassen. Um Brennstoff für die Lokomotive zu sparen, stellen wir die Verbrennung des Treibstoffs ab und lassen den fahrenden Zug im Freilauf einen Berg hinaufrollen. Irgendwann wird der Zug am Berghang zum Stillstand kommen. In diesem Moment ziehen wir die Bremse. Der Zug steht jetzt, hat also keine Bewegungsenergie mehr. Dafür befindet er sich aber höher auf einem Berg. Wann immer wir wollen, können wir die Bremse lösen. Der Zug wird dann von seiner Berglage wieder hinunterrollen. Wir haben also Energie gespeichert: potentielle Energie oder Energie der Lage.

Elektrische Energie

Alle Materie besteht aus Atomen und Gruppen von Atomen, den Molekülen: Ein Atom wiederum besteht aus einem kleinen Kern, der elektrisch positiv geladen ist, und einer Wolke von Elektronen drumherum. Diese Elektronen sind negativ geladen.

Protonen und Elektronen

Ein Wasserstoffatom besteht aus einem positiv geladenen Kernbaustein, dem Proton, und einem negativ geladenen Elektron.



Insgesamt befinden sich in einem Atom ebensoviele negative wie positive Ladungen, die sich gegenseitig anziehen, so daß das ganze Atom im Gleichgewicht, elektrisch neutral ist. Das ist in der Abbildung schematisch am Beispiel des Wasserstoffatoms dargestellt. Trennt man nun ein Elektron aus dem Atom heraus, muß man die Anziehungskraft überwinden - Arbeit verrichten. Wenn man umgekehrt das Elektron wieder zu seinem Kern zurücklaufen läßt, kann es selber Arbeit verrichten: Elektrische Energie.

Chemische Energie

Viele Atome haben die Eigenschaft, daß sie nicht gern allein bleiben. Ein Wasserstoffatom etwa "sucht sich" ein anderes Wasserstoffatom, um mit ihm zusammen ein Wasserstoffmolekül zu bilden. Dieses Wasserstoffmolekül wiederum verbindet sich gern mit einem Sauerstoffatom, das Ergebnis ist Wasser. Man spricht von einer *chemischen Verbindung*. Diese Verbindung wird dadurch zusammengehalten, daß sich die Atome, aus denen die Verbindung besteht, gegenseitig anziehen. Die Kräfte, die dabei wirken, werden *Bindungskräfte* genannt. Um eine solche Verbindung wieder in ihre Bausteine, die Atome, aufzulösen, muß man den Widerstand der Bindungskräfte überwinden, also Arbeit leisten. Umgekehrt wird Energie frei, wenn die Verbindung zustande kommt. Man nennt diese Energie *chemische Energie*.

Es gibt auch Verbindungen, in denen alles das umgekehrt läuft - man muß Arbeit leisten, um die Verbindung zustandezubringen, und die chemische Energie wird frei, wenn sich die Verbindung auflöst.

Wärmeenergie

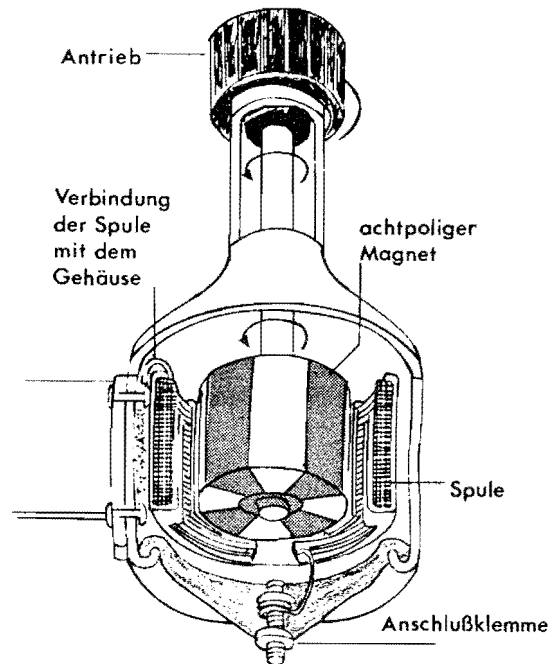
Wie wir schon gesehen haben, besteht jede Art von Materie aus Atomen bzw. Molekülen. Diese Atome und Moleküle sitzen aber nicht still da, sondern bewegen sich mehr oder weniger schnell. In einem Gas oder in einer Flüssigkeit herrscht sogar völliges Chaos. Alle Atome bewegen sich "wirr" durcheinander, stoßen aneinander, und bewegen sich im ganzen Gasvolumen oder in der ganzen Flüssigkeit herum. Aber auch in einem festen Körper herrscht keine Ruhe. Da hat zwar jedes Atom seinen Platz, den es nicht verlassen kann; deswegen sitzt es trotzdem nicht still, sondern "schwingt um seine Ruhelage herum". Kurz: egal, ob in einem Gas, in einer Flüssigkeit oder in einem festen Körper, die *Atome bewegen sich*. Die Energie dieser Bewegung nennt man Wärmeenergie. Bewegen sich die Atome schnell, ist der Körper (oder das Gas oder die Flüssigkeit) heiß, bewegen sie sich nur wenig, ist er kalt. Wärmeenergie ist also ein *Sonderfall der Bewegungsenergie*.

8.1.2 Energie-Umwandlungen

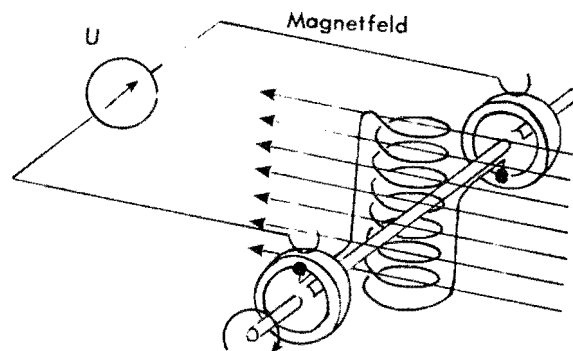
Je genauer wir hinsehen, desto vielseitiger erscheint uns Energie. Man kann (fast) alles damit machen, und Energie tritt in verschiedenen Formen auf.

Doch damit nicht genug: Man kann Energie von einer Form in Energie von einer anderen Form verwandeln. Wir haben schon das Beispiel vom fahrenden Zug kennengelernt, der im Freilauf einen Berg hinaufrollt, bis er stehenbleibt und damit seine Bewegungsenergie in potentielle Energie verwandelt hat. Man kann Bewegungsenergie aber auch in andere Formen von Energie umwandeln. Ein Beispiel für so eine Umwandlung ist der Dynamo am Fahrrad, der einen Teil der Bewegungsenergie des fahrenden Rades in elektrische Energie verwandelt. Ein anderes Beispiel ist die Bremse. Wer einmal eine Bremse nach einer längeren Bremsung während einer Talfahrt angefaßt hat und sich dabei die Finger verbrannt hat, weiß, was gemeint ist. Eine Bremse schluckt Bewegungsenergie (das ist ihre Aufgabe) und verwandelt sie in Wärmeenergie. Insgesamt kann man sagen: **Man kann Energie einer beliebigen Form in Energie einer beliebigen anderen Form umwandeln. (Allerdings gelten dafür Einschränkungen.)**

Der Fahrraddynamo



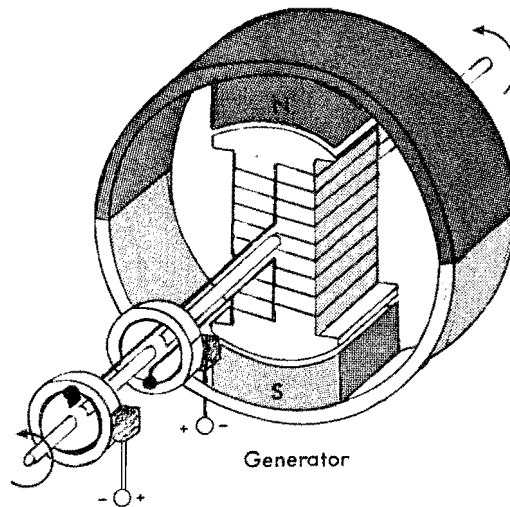
1. Zerlege einen Demonstrationsdynamo und schaue Dir die Einzelteile an: Durch ein Antriebsrädchen wird in seinem Innern ein Magnet gedreht, der wie ein Zylinder aussieht.
2. Außerdem befindet sich im Dynamo eine Spule. Sie ist mit der Anschlußklemme und dem Gehäuse des Dynamos verbunden.
Nimm eine solche Spule und schließe sie an ein Meßgerät für die Spannung an, dessen Nullpunkt in der Skalenmitte liegt. Drehe vor dieser Spule einen Stabmagneten. Das Meßgerät zeigt eine Spannung an, deren Betrag und Polung sich ständig ändern.
3. Wir drehen eine Spule im Magnetfeld. Der Anschluß des Meßgerätes an die Spule erfolgt über zwei Schleifkontakte.



Das Meßgerät zeigt eine Spannung an, deren Betrag und Polung sich ständig ändern.

4. Dreht man in Versuch 2 und 3 den Magneten oder die Spule mit Hilfe eines Motors immer schneller, werden die Ausschläge des Zeigers kleiner, bis sie ganz verschwinden. Dagegen zeigt ein Meßgerät für Wechselspannung weiterhin eine Spannung auf, deren zeitlicher Verlauf sich mit einem Oszilloskop verfolgen läßt.

Generatoren erzeugen Spannungen



Dreht sich eine Spule in einem Magnetfeld, so entsteht an ihren Enden eine Spannung, die über Schleifkontakte an zwei Anschlüsse weitergegeben wird. Eine solche Anordnung heißt Generator.

Die Spule bildet zusammen mit dem Eisenkern den Anker. Während jeder Umdrehung des Ankers ändern sich der Betrag und die Polung der entstehenden Spannung. Sie heißt deshalb Wechselspannung.

In einem Generator entsteht auch eine Wechselspannung, wenn die Spule fest steht und das Magnetfeld von einem sich drehenden Magneten stammt. Ein Beispiel hierfür ist der *Dynamo*.

Im Generator entsteht durch Drehen einer Spule im Magnetfeld oder eines Magneten vor einer Spule eine Wechselspannung.

Beim Umwandeln von Energie geht es zu wie beim Geldwechseln: Es gibt feste "Wechselkurse" zwischen den einzelnen Formen von Energie. Eine bestimmte Menge Bewegungsenergie entspricht einer bestimmten Menge elektrischer Energie, und so weiter. Diese "Wechselkurse" zwischen den einzelnen Formen von Energie sind seit über hundert Jahren bekannt. Wie hoch die einzelnen Wechselkurse sind, kann uns im Augenblick gleich sein, aber wichtig ist eines: Beim Umwandeln von Energie von einer Form in eine andere Form geht nichts verloren.

Der Energiesatz (Erster Hauptsatz) - Eine heuristische Betrachtung

Nehmen wir an, wir säßen in einem großen Zimmer gut abgeschlossen von der Außenwelt, so gut abgeschlossen, daß keine Energie in das Zimmer von außen hereinkommen kann. (Ein solches Zimmer gibt es in Wirklichkeit nicht; ein bißchen Energie dringt durch alles hindurch. Aber man kann durch geeignete Vorkehrungen diesem idealen Zimmer sehr nahekommen.) Man nennt einen solchen Raum ein "abgeschlossenes System". In diesem abgeschlossenen System wandeln wir jetzt verschiedene Formen von Energie ineinander um. Fangen wir beispielsweise mit einer bestimmten Menge von Bewegungsenergie, die in einem sich drehenden Rad enthalten ist, an und verwandeln diese Bewegungsenergie - z.B. in einem Dynamo - in elektrische Energie. Allerdings gelingt uns das nicht vollständig: Wir merken, unter anderem an der Erwärmung des Dynamos und der Radlager, daß sich ein Teil der Bewegungsenergie durch Reibung in unseren Maschinen in Wärmeenergie umsetzt. Zählen wir jetzt nach der Umwandlung alle Energie zur "Gesamtenergie" zusammen (also hier elektrische Energie plus Wärmeenergie), dann stellen wir fest (wenn wir die Wechselkurse richtig anwenden und uns auch sonst keine Fehler unterlaufen), daß an Energie insgesamt nichts verloren gegangen ist, aber auch nichts dazugekommen ist. Das ist immer der Fall, gleichgültig, welche Energieumwandlungen wir vornehmen. Zusammenfassend kann man also sagen: **In einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtenergie gleich.**

Dieses Gesetz heißt *Energiesatz* oder *Satz von der Erhaltung* der Energie oder auch, ganz vornehm, *Erster Hauptsatz der Wärmelehre*. Man kann den Energiesatz nicht beweisen, aber man hat noch nie etwas beobachtet, was diesem Satz widerspricht; soweit man weiß, gilt der Energiesatz unter allen Bedingungen, zu allen Zeiten und überall. Er ist eines der wichtigsten Gesetze der Naturwissenschaften.

Es geht nichts verloren - oder doch?

Eine Folgerung aus dem Energiesatz ist offensichtlich: es kann keine Maschine geben, die Arbeit verrichtet, ohne dafür Energie zu brauchen. Von einer solchen Maschine, dem *perpetuum mobile*, ist viel geträumt worden - manche träumen noch heute. Der Energiesatz hat auch eine andere, auf den ersten Blick, tröstliche Folgerung: egal, was man macht und wie man es macht, nie geht Energie dabei verloren. Merkwürdig, das scheint doch aller Erfahrung zu widersprechen. Wie kommt es, daß von Energieverschwendung die Rede ist, wenn keine Energie verloren gehen kann? Was ist also richtig - der Energiesatz oder die tägliche Erfahrung. Beides ist richtig.

Der Widerspruch ist nur scheinbar. Es ist richtig, daß keine Energie verloren geht. Aber es gibt bessere und schlechtere Energieausnutzung. Es kommt nämlich darauf an, wie leicht es ist, eine bestimmte Energieform - möglichst "verlustarm" für eine bestimmte

gewünschte Arbeit zu nutzen. Anders ausgedrückt: sie so zu nutzen, daß sich möglichst wenig von ihr in eine Energieform verwandelt, von der man nichts hat.

Wenn wir mit Energie Arbeit verrichten, so wird nicht alle Energie dabei für die betreffende Arbeit ausgenützt, sondern nur ein Teil. Der andere Teil wird meist in Wärmeenergie verwandelt. Und Wärmeenergie ist zum einen sehr flüchtig, das heißt, sie verteilt sich schnell in der Umgebung, zum anderen kann man Wärmeenergie nur unter bestimmten Bedingungen zur Arbeit verwenden.

Ein Beispiel für Wärme und Bewegung: Jeder Körper, der wärmer ist als der sogenannte "absolute Nullpunkt" (bei fast - 273° C), enthält Wärmeenergie, die in der Bewegung der Atome (aus denen der Körper besteht) steckt. So enthält also auch ein Stein, der auf der Erde liegt, Wärmeenergie. Der Stein könnte also, ohne den Energiesatz zu verletzen, diese Wärmeenergie in Bewegungsenergie verwandeln. Bei vollständiger Umwandlung seiner Wärmeenergie in Bewegungsenergie würde ein Stein, der vor der Umwandlung vielleicht eine Temperatur von 20 Grad hatte, mit Überschallgeschwindigkeit davonfliegen und wäre dann sehr kalt. Man sieht daraus, daß die Wärmeenergie, die in jedem Körper steckt, gewaltig ist. Zu unserem Glück jedoch benutzen Steine und andere Dinge ihre Wärmeenergie nicht zur Fortbewegung.

Der Zweite Hauptsatz

Wir sehen also, daß Vorgänge denkbar sind, die zwar den Energiesatz nicht verletzen (also weder Energie erzeugen, noch vernichten: die "Energiebilanz" stimmt), die aber in der Natur nicht vorkommen. Auf diese Vorgänge bezieht sich der *Zweite Hauptsatz der Wärmelehre*, meist kurz *Zweiter Hauptsatz* genannt. Dieser Satz lautet: **Es kann keine (periodisch arbeitende) Maschine geben, deren einzige Wirkung darin besteht, einem Körper Wärmeenergie zu entziehen und diese vollständig in Arbeit umzuwandeln.**

Wie den Energiesatz (Erster Hauptsatz) so kann man auch den Zweiten Hauptsatz nicht beweisen. Auch ist er in seiner präzisen Formulierung weniger anschaulich als der Energiesatz. Die Folgerungen aus dem Zweiten Hauptsatz sind jedoch weiterreichend und ergiebiger für das Thema Energie, wie wir es untersuchen, als die Folgerungen aus dem Energiesatz.

Aber aus dem Satz, so wie er dasteht, kann man so ohne weiteres keine Folgerungen ziehen. Es gibt auch andere, weniger präzise Formulierungen des zweiten Hauptsatzes: **In einem abgeschlossenen System wird die Unordnung nie geringer.**

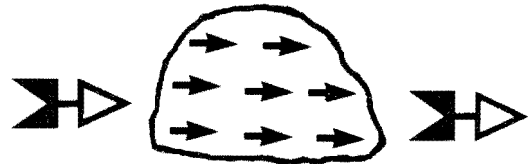
Das klingt zunächst noch weniger verständlich als die oben genannte Version, geht aber besser auf den zugrundeliegenden Sachverhalt ein. Nehmen wir wieder unseren Stein: Wie müßte denn die Wärmeenergie des Steins in Bewegungsenergie umgewandelt werden? Wir hatten schon weiter oben festgestellt, daß die Wärmeenergie des Steins die Energie der "um ihre Ruhelage schwingenden" Atome bzw. Moleküle in dem Stein ist. Um also davonfliegen zu können, hätte mit dem Stein "nur" folgendes zu geschehen: alle seine Moleküle müßten zur selben Zeit in der selben Richtung schwingen.

Die Bewegung der Moleküle

Der Stein ist warm und bewegt sich nicht. Die Moleküle in seinem Inneren bewegen sich wild durcheinander.



Der Stein ist kalt und bewegt sich. Alle Moleküle bewegen sich gleich schnell in die gleiche Richtung.



Dazu müßte aber in seinem Inneren aufgeräumt, "Ordnung" gemacht werden. (Denn Wärmeenergie ist die ungeordnete Bewegung der Moleküle; im Gegensatz zur Bewegungsenergie, wo alle Moleküle zur gleichen Zeit und gemeinsam sich in die gleiche Richtung bewegen.) Das kann der Stein aber nicht ohne äußere Einwirkung - so sagt der zweite Hauptsatz. Wenn man dem Stein einen Tritt geben würde, wäre er ja kein abgeschlossenes System mehr. Das ist ja auch ziemlich einsichtig, denn es gibt so viele Möglichkeiten, wie die unzähligen Moleküle schwingen können, warum sollten sie da ausgerechnet alle gleichzeitig das gleiche machen?

Umgekehrt geht das viel leichter. Nehmen wir an, wir lassen den Stein vom Dach fallen. Trifft er auf dem Boden auf, bleibt er liegen und hat seine Bewegungsenergie in Wärme verwandelt. (Allerdings erwärmt er sich dabei so wenig, daß man es mit der Hand kaum spürt.) Die im Fallen geordnete Bewegung (es fallen ja alle Moleküle des Steins - im Durchschnitt - gleich schnell) gerät beim Auftreffen durcheinander. Dabei bleibt die Gesamtenergie erhalten, die Unordnung nimmt aber zu. Wir sehen dabei, daß Wärmeenergie eine weniger nützliche Energie ist als beispielsweise Bewegungsenergie. Man kann sie nur begrenzt in Arbeit umwandeln.

Entscheidend ist die Temperaturdifferenz

Man kann also nicht ohne weiteres einem Körper Wärme entziehen und diese Wärme in Arbeit umwandeln. Was man braucht, um Wärme zu Arbeit zu machen, ist eine Temperaturdifferenz, also etwa zwei Körper, der eine heiß, der andere kalt. Der heiße Körper kann zum Beispiel ein Heizkörper sein, der kalte die kühlere Umgebung. Was man außerdem noch braucht, ist eine sogenannte "Wärmekraftmaschine" (das klingt sehr großartig, ist aber einfach eine allgemeine Bezeichnung für jede Maschine, die aus Wärme Arbeit macht). Man könnte etwa über einen Heizkörper eine Art Propeller anbringen, der durch die aufsteigende Luft in Drehung versetzt wird. Eine solche Maschine entnimmt dem wärmeren Körper (Heizkörper) Wärme, macht aus einem Teil dieser

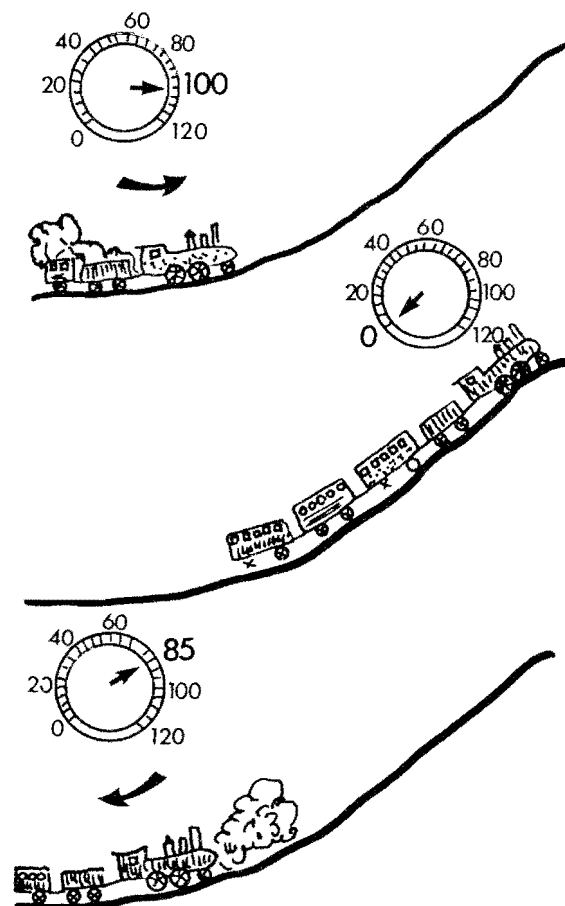
Wärme Arbeit (Propellerdrehung), und gibt den Rest der Wärme (die "Abwärme") an den kalten Körper (z.B. die Umgebungsluft) ab und macht ihn damit wärmer. Man sieht sofort, daß dieses Spiel irgendwann, wenn man die Temperaturdifferenz nicht ständig durch Energiezufuhr aufrechterhält, ein Ende hat: dann nämlich, wenn beide Körper gleich warm sind; denn dann besteht ja keine Temperaturdifferenz mehr. Allgemein gilt: **Um aus Wärme Arbeit zu machen, braucht man eine Temperaturdifferenz, also etwas Warmes und etwas Kaltes. Man kann um so mehr Wärmeenergie in Arbeit verwandeln, je größer die Temperaturdifferenz ist.**

Ein Beispiel für "verlorene" Energie

Besteigen wir noch einmal den Zug und fahren wir mit einer Geschwindigkeit von 100 Stundenkilometern im Freilauf mit abgestellter Lok auf eine Steigung zu. Der Zug würde bekanntlich immer langsamer rollen und käme schließlich zum Stillstand. Er hat seine Bewegungsenergie in potentielle Energie verwandelt. Soweit bekannt - aber: Macht er das vollständig? Um das herauszufinden, lassen wir ihn wieder den Berg hinabrollen und messen seine Geschwindigkeit in der Ebene.

Bewegungsenergie, potentielle Energie und "Energieverlust"

Der Zug rollt auf die Steigung zu, besitzt Bewegungsenergie, kommt zum Stillstand, besitzt potentielle Energie und rollt wieder zurück. Seine potentielle Energie verwandelt sich in Bewegungsenergie. Er erreicht allerdings nicht mehr seine anfängliche Geschwindigkeit, weil er einen Teil seiner Energie durch Reibung an die Umgebung "verliert" (das ist durch die Staubwolken dargestellt).



Wir werden dabei feststellen, daß er die 100 Stundenkilometer, die er anfangs hatte, nicht mehr erreicht. Er könnte beispielsweise 85 Stundenkilometer erreichen. Den Rest hat er durch Reibung "verloren", das heißt in Wärme umgewandelt. Er hat Luft in Bewegung gebracht und damit aufgewärmt; in seinen Radlagern reibt sich Metall auf Metall und dadurch erwärmen sich die Lager, auch wenn sie geschmiert sind. Er hat beim Rollen Geräusche gemacht, Schallwellen, die sich letztlich irgendwo in Wärme umwandeln. Er hat die Schienen und das darunterliegende Erdreich eingedrückt und damit erwärmt usw. Man sieht, die Wärme verteilt sich überallhin und es entstehen, außer vielleicht in den Radlagern, keine hohen Temperaturen. Das heißt, selbst, wenn man diese ganze, fein verteilte Wärme irgendwo einsammeln könnte, dann wäre die Temperatur dieser Wärmemengen nur wenig höher als die der Umgebung. Man könnte daher nur sehr wenig davon in Arbeit umwandeln: Der Temperaturunterschied ist zu gering, als daß wir ihn für Arbeit nutzbar machen könnten. Die durch Reibung entstehende Wärmeenergie ist praktisch "verloren".

Man kann sich noch mehr solche Beispiele überlegen. Immer wird man feststellen, daß bei allen auf der Erde praktisch vorkommenden Prozessen, bei denen eine Energieform in Arbeit verwandelt wird, nützliche Energie, wie etwa Bewegungsenergie, zu einem Teil in weniger nützliche, also kaum verwendbare Wärmeenergie von niedriger Temperatur umgewandelt wird. Praktisch endet alle Energie irgendwann in solcher niederwertigen Wärme.

Alles Leben kommt von der Sonne

Wenn also alle Energie schließlich als Wärme endet, so könnte man sich fragen, warum es auf der Erde überhaupt noch Energie gibt, die man zur Arbeit nutzen kann. Das liegt daran, daß die Erde kein abgeschlossenes System ist - und nur für solche abgeschlossenen Systeme gelten ja die Hauptsätze, die uns in diesem Kapitel beschäftigt haben. Die Erde ist nicht allein. Da gibt es zum einen die Sonne, die uns stetig große Mengen Energie in Form von Sonnenlicht (Wärmestraheln hoher Temperatur) zuführt. Das ist unser heißer Körper. Und rund um die Erde ist der Weltraum. Der ist unser kalter Körper. Die Erde empfängt also ständig Energie und strahlt aber auch dauernd Energie (in Form von Licht und Wärmestrahlung niedriger Temperatur) in den Weltraum ab. Deswegen wird es nachts kalt.

Die Erde sitzt also "in der Mitte" zwischen einem heißen und einem kalten Körper. Das ist eine sehr gute Position, wenn man aus Wärme Arbeit machen will. Diese günstige Position macht das Leben auf der Erde möglich. So gesehen, sind wir alle das Ergebnis eines Umwegs, den ein Teil der Sonnenstrahlung geht: Anstatt direkt in den Weltraum zu "verschwinden", machen diese Sonnenstrahlung den Umweg über unsere Erde, treiben dort alle Lebensvorgänge und alle Bewegung an, und werden schließlich in den Weltraum abgestrahlt, als Wärmestrahlung niedriger Temperatur.

8.2 Wie wird Energie gemacht?

Im Alltag sagt man, Energie werde *erzeugt* oder *gemacht*. Im naturwissenschaftlichen Sinne wandelt man Energie um: Man sucht sich eine nützliche Energie und läßt die Arbeit verrichten. Dabei verwandelt sie sich in eine weniger nützliche Form. Das bedeutet, daß man mit der Energie nachher nicht mehr so viel anfangen kann wie vorher. Es ist wie mit einem wilden Pferd; man fängt es ein, zähmt es, und schließlich reitet man es - *man macht Energie nicht, sondern man macht sie sich zunutze*. Man kann auch sagen, man *gewinnt Energie*. In diesem Sinne macht oder erzeugt der Mensch nie etwas. Wie gewinnt man wirklich Energie? Wie sieht es damit praktisch aus?

8.2.1 Anwendungsbereiche von Energie

Es kommt darauf an, wofür man sie benötigt. Wir unterscheiden verschiedene Anwendungsbereiche für Energie:

Wärme: Darunter rechnet im Haushalt die Heizung, die Warmwasserbereitung zum Duschen und Spülen und das Kochen. Wärme wird auch in der Industrie gebraucht, etwa um chemische Prozesse in Gang zu bringen, die eine hohe Temperatur benötigen. In diesem Fall spricht man von Prozeßwärme.

Bewegung: Darunter fallen Maschinen, der Verkehr, der Transport, kurz, alles was in Bewegung gesetzt und gehalten werden muß und wozu keine Muskelkraft eingesetzt wird.

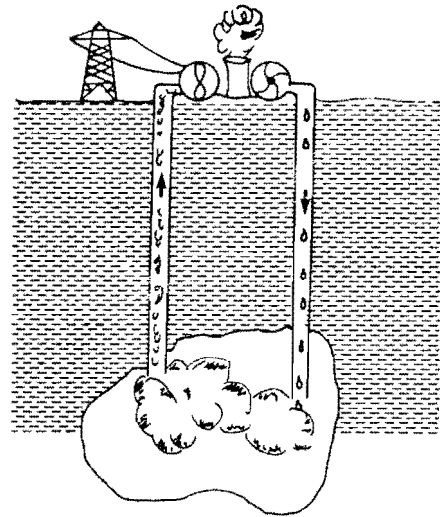
Informationsübermittlung (Radio, Telefon, Ampeln für den Verkehr usw.) und die Beleuchtung: Dieser Bereich ist zwar für unser Leben sehr wichtig, sein Energiebedarf jedoch ist gering, verglichen mit den ersten beiden Bereichen. Wir wollen uns daher hier auf die ersten beiden Anwendungsbereiche beschränken.

Wärme

Wärme direkt aus der Natur. Wie gewinnt man Energie für Wärmezwecke? Einmal kann man sie dort sammeln, wo man sie in der Natur findet. So wie einer, der friert, sich in die *Sonne* stellt, um sich aufzuwärmen, kann man Dinge, die man aufheizen will, der Sonne aussetzen. Je nach der Temperatur, die man dabei erreichen will, kann man verschiedene Verfahren anwenden. Man kann Wärme auch unter der Erde finden. Man nennt diese Wärme *Erdwärme*. Ein Verfahren zur Nutzung der Erdwärme zeigt folgende vereinfachte Darstellung eines Erdwärmekraftwerkes.

Erdwärmekraftwerk

Durch eines der beiden Bohrlöcher wird Wasser in die Tiefe gepumpt, das dort von der Erdwärme erhitzt wird und als Dampf durch das andere Loch wieder hochsteigt. Oben angekommen, treibt der Hochdruck-Dampf eine Turbine, und diese erzeugt Elektrizität. Danach wird der Dampf abgekühlt, verwandelt sich in Wasser zurück und wird wieder in die Tiefe gepumpt, wo alles von vorn beginnt.



Künstlich gewonnene Wärme. Man kann Wärme auch künstlich erzeugen, nämlich durch *Verbrennung*, z.B. von Holz, Gas, Öl, Kohle. Die dabei entstehende Wärme nutzt man. Wie man das macht, was ein Ofen ist und wie er funktioniert, weiß jeder. Auch aus *Kernenergie* und *Bewegungsenergie* kann man Wärme gewinnen.

Bewegung

Wie gewinnt man Energie für Bewegungszwecke? Wieder ist es am einfachsten, sie dort zu holen, wo man sie in der Natur findet. Dabei nutzt man hauptsächlich die Bewegung von *Luft* und *Wasser*. Der *Wind* bezieht seine Energie aus der Sonnenstrahlung.

Seewind - Landwind

Vorbemerkung

Die Land-Seewind-Zirkulation hat ihre Ursache ausschließlich in den unterschiedlichsten Erwärmungseigenschaften von Wasser und Land.

Das Land erwärmt sich im Frühjahr und Sommer mit zunehmender Sonneneinstrahlung sehr rasch, kühlt jedoch im Herbst und Winter, wenn die Strahlung schwächer wird, genauso schnell wieder ab.

Die Meeresgebiete dagegen stellen riesige Energiespeicher dar.

Im Frühjahr und Sommer nimmt das Wasser die wachsende Sonnenergie auf und transportiert sie durch die ständige Wellenbewegung und Turbulenz in tiefere, kältere Schichten. Dadurch erwärmt sich das Wasser an der Oberfläche nur ganz allmählich und erreicht erst Mitte August seine höchste Temperatur. Aber selbst dann ist es kälter als das Land. So werden Nord- und Ostsee kaum wärmer als 21°C.

Wird die Sonnenstrahlung im Herbst und Winter hingegen schwächer, heizt sich das Wasser mit der in der Tiefe gespeicherten Energie auf. So bleibt es wärmer als das Land.

Die Speicherwirkung des Wassers kann man (vor Ort) selbst beobachten. Binnenseen frieren immer vom Ufer aus zu. Dort hat das flache Wasser seine Wärmeenergie bald abgegeben, zudem sorgt die Berührung mit dem kalten Land dafür, daß die Temperatur da zuerst unter den Gefrierpunkt sinkt.

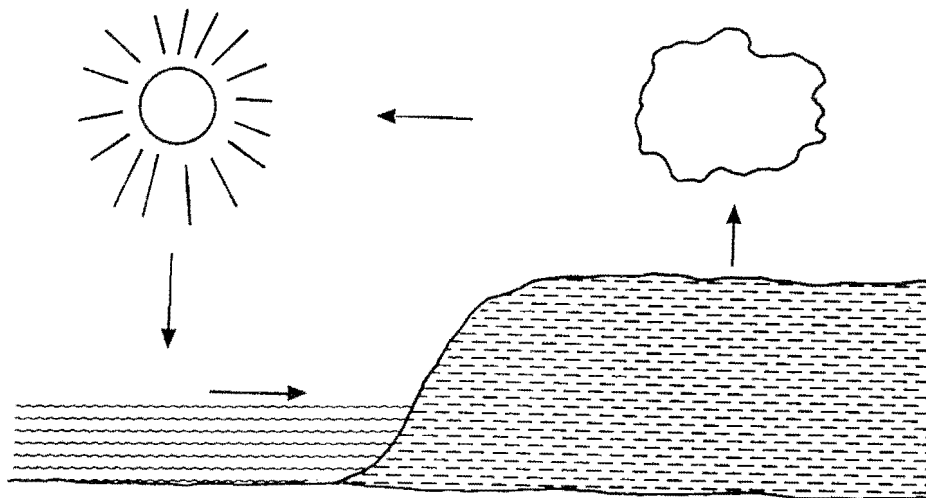
Im Gegensatz dazu erfolgt der Wärmetransport von der Erdoberfläche in die Tiefe nur durch molekulare Wärmeleitung und daher langsam. Die Strahlungserwärmung bleibt darum auf die oberen Schichten beschränkt, so daß sich dort durch die gleiche zugeführte Wärmeenergie eine wesentlich stärkere Temperaturerhöhung ergibt, als in der flüssigen Wasseroberfläche, wo die zugestrahlte Wärme durch turbulenten Wärmetransport in tiefen Schichten übertragen wird. So erhält man im Jahresrhythmus eine langsame und geringe Erwärmung und Abkühlung der Meeresgebiete und eine schnelle und starke Erwärmung und Abkühlung der Landgebiete.

Seewind

Angenommen, bei Sonnenaufgang ist der Himmel wolkenlos und die Lufttemperatur über dem Wasser und Land gleich.

Danach erhebt sich die Sonne und heizt den Boden auf. Dadurch wird die Luft darüber erwärmt, dehnt sich aus und beginnt in die Höhe zu steigen. Als Ersatz strömt die Luft über dem relativ kalten Wasser landeinwärts; dies ist als Seewind zu spüren. Inzwischen baut sich in der Höhe über dem Land der Massenzufluß an Luft wieder ab, indem sie zum Wasser fließt und das Defizit ausfüllt, das durch die landwärts strömende Luft entstanden ist.

Windsystem zwischen See und Land: Seewind



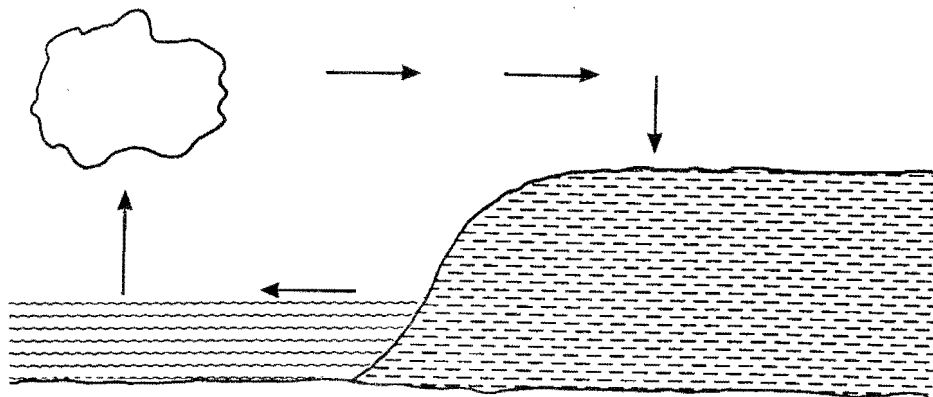
Ein sichtbares Merkmal sind die mehr oder minder großen Kumuluswolken, die sich je nach Feuchtegehalt in dem aufsteigenden Luftstrom über Land bilden. Über dem Wasser bleibt es indessen wegen der Absinkbewegung wolkenlos, auch über den unserer Küste vorgelagerten Nordseeinseln. Da sie sehr klein sind, die Erwärmung des Inselbodens also nicht zu einem eigenen aufsteigenden Luftstrom ausreicht, können sie das Zirkulationssystem nicht stören.

Landwind

Nach Sonnenuntergang kühlt sich das Festland rasch ab, häufig so stark, daß es kühler wird als das Meereswasser. Nun weht der Wind für eine Weile überhaupt nicht mehr, doch dann dreht der Wind, denn plötzlich beginnt die Luft vom Land zum Wasser zu strömen. Der Landwind hat eingesetzt, und während über dem Wasser Wolken entstehen, verschwinden die Überreste der nachmittäglichen Bewölkung über dem Land.

Diese ausgeprägte Land-Seewind-Zirkulation hat ihre Ursache also ausschließlich in den unterschiedlichen Erwärmungseigenschaften von Wasser und Land.

Windsystem zwischen Land und See: Landwind



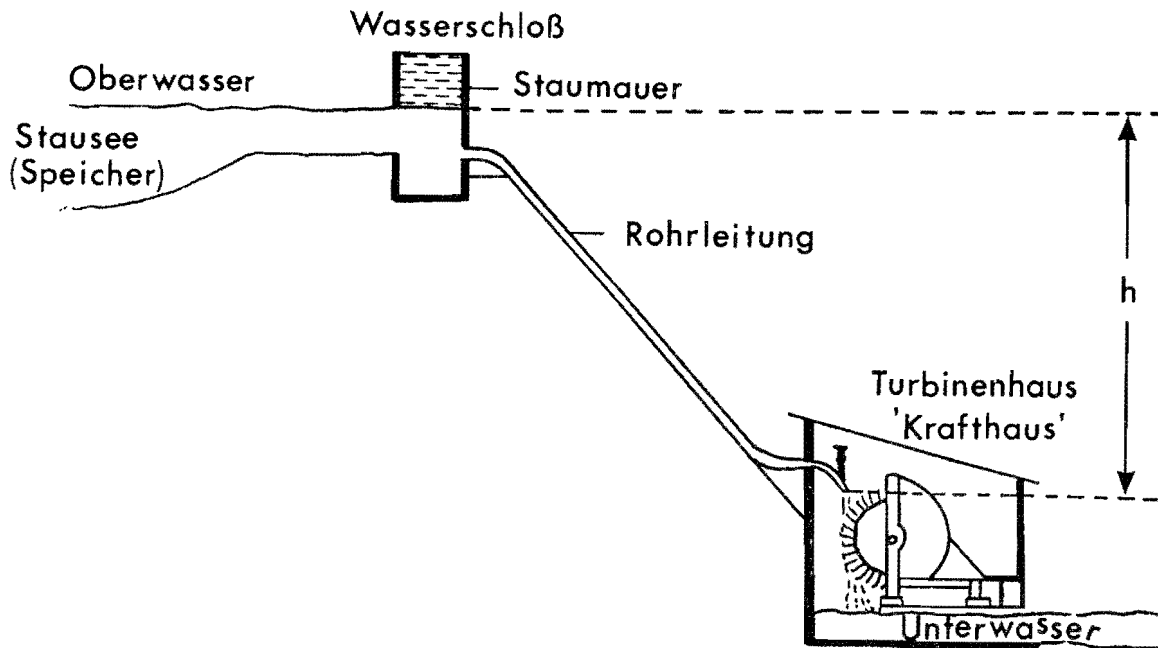
Mit einer Windmühle kann man die Bewegung der Luft der Drehung eines Rades umsetzen und dann die Drehung des Rades zur Arbeit ausnutzen. Es gibt viele verschiedene Arten von Windmühlen.

Die Möglichkeiten, die Bewegung von *Wasser* zu nutzen, sind noch vielfältiger. Man nutzt Flüsse und ihr Gefälle durch Wasserräder und Turbinen. Auch Meeresströme beziehen ihre Energie indirekt aus der Sonnenstrahlung. Es gibt Pläne, auch diese Energie zu nutzen.

Die Nutzung von Wärme- und Bewegungsenergie unmittelbar dort, wo sie auftritt, hat aber noch einen Haken: Wenn man sich vorstellt, man sei ein Windmüller und hätte einen Sack Korn zu mahlen, aber es weht kein Wind; oder man sitzt mit dem Sack Korn in einer Wassermühle an einem Bach, aber es hat seit Monaten nicht mehr geregnet, und der Bach ist ausgetrocknet. Gut, man könnte den Sack auf den Rücken nehmen und an einen Fluß tragen, der genügend Wasser führt. Säcke tragen ist aber ziemlich mühsam. Besser wäre es da schon, man könnte Energie speichern und transportieren, so daß man sie, wann man will und wo man will, verwenden kann. Wie macht man das?

8.2.2 Wie wird Energie gespeichert?

Fangen wir bei der Speicherung an. Jeder weiß, wie man Wasserkraft speichert: Mit einem Stausee. meist sind Stauseen Flußtäler im Gebirge, in denen das Wasser durch eine stabile Mauer am Talausgang (Stauwerk) aufgestaut wird.



Der Höhenunterschied zwischen Stauseeoberfläche und dem weiter unten liegenden Kraftwerk bedeutet potentielle Energie, die sich in Bewegungsenergie verwandelt, wenn man das Wasser durch ein Rohr aus der Staumauer nach unten auf die Turbinen des Kraftwerks schießen läßt. Diese drehen sich dadurch und treiben einen elektrischen Stromerzeuger an. Wenn man aber diese Energie gerade nicht braucht, schließt man das Rohr. Dann steigt das Wasser an der Staumauer höher, und der Vorrat an Bewegungsenergie wächst. Man kann ihn anzapfen, wann immer man will: wir haben also Bewegungsenergie gespeichert. Leider kennt man noch keine Möglichkeit, die Bewegungsenergie des Windes so einfach so zu speichern. Dennoch einige Speicher für Windenergie: Man kann den Strom, den die Windräder erzeugen, in Batterien speichern, kann ihn Wasserstoffgas für Verbrennungsmotoren erzeugen lassen. Man kann durch Windräder auch Pumpen antreiben, die die Luft in einen Tank pumpen. Wenn man die Druckluft bei Bedarf auf entsprechende Maschinen leitet (Windturbine), kann man sie arbeiten lassen. Auch Wärme kann man speichern. Jeder weiß, daß ein Topf Wasser (oder ein Stein), den man auf dem Herd heißgemacht hat, noch eine ganze Weile heiß bleibt, nachdem man ihn vom Herd genommen hat. Je größer der Topf (oder Stein), desto länger bleibt er heiß.

Warum bleibt ein größerer Stein länger heiß?

Wie lange ein Körper heiß bleibt, also seine Speicherqualität, hängt von zwei Dingen ab:

1. von der Menge Wärme, die er gespeichert hat und
2. von der Geschwindigkeit, mit der er die Wärme verliert.

Wovon hängt die Speichermenge ab? Es ist klar, daß ein größerer Stein mehr Wärme speichern kann als ein kleinerer. Bei gleicher Temperatur speichert ein Stein von zwei Kilogramm Gewicht doppelt so viel Wärme wie ein Stein, der nur ein Kilogramm wiegt. Man sagt, daß die gespeicherte Wärmeenergie *der Masse des Steins proportional* ist.

Was ist über die Geschwindigkeit zu sagen, mit der ein Stein seine Wärme verliert? Um abkühlen zu können, muß er die Wärme über seine Oberfläche abgeben: und je größer diese Oberfläche ist, um so schneller kühlt er ab: Man sagt, daß die Geschwindigkeit des Wärmeverlusts *der Oberfläche des Steins proportional* ist.

Daraus folgt:

- ein Stein kühlt um so langsamer ab, je größer seine Masse ist und
- ein Stein kühlt um so schneller ab, je größer seine Oberfläche ist. Man kann beide Sätze zusammenfassen und sagen:

Ein Stein kühlt um so schneller ab, je größer das Verhältnis seiner Oberfläche zu seinem Volumen (oder seiner Masse) ist (also die Oberfläche geteilt durch das Volumen).

Man kann es leicht am Beispiel eines Würfels nachrechnen, daß dieses Verhältnis

$\frac{\text{Oberfläche}}{\text{Volumen}}$ um so kleiner ist, je größer der Würfel wird - und das ist für andere Formen von Körpern

und andere Speichermaterialien genauso.

Deswegen bleibt ein großer Stein länger heiß. Das Verhältnis $\frac{\text{Oberfläche}}{\text{Volumen}}$ spielt bei allen Vorgängen von Aufheizung und Abkühlung eine wichtige Rolle.

Häufig verwendet man zur Speicherung von Wärme auch Wasser, das in große, gut wärmeisolierte Tanks gefüllt wird. Immer häufiger finden sie Anwendung im Zusammenhang mit der Heizung oder Warmwasserbereitung eines Hauses mit Sonnenenergie: Wasser wird in Kollektoren, das sind schwarze flache Behälter oder spezielle Absorberplatten, die von Röhren durchzogen sind, hinten wärmeisoliert und vorn verglast, der Sonne ausgesetzt und dadurch erwärmt. Das erwärmte Wasser wird dazu verwendet, den Inhalt des Speichertanks zu erwärmen. Der Speichertank kann drei "Schwächen" der Sonne ausgleichen:

1. Die Sonne scheint nur tagsüber.
2. Manchmal scheint sie einige Tage gar nicht.
3. Sie scheint am meisten und intensivsten im Sommer, wenn sie - jedenfalls zur Raumheizung - am wenigsten gebraucht wird.

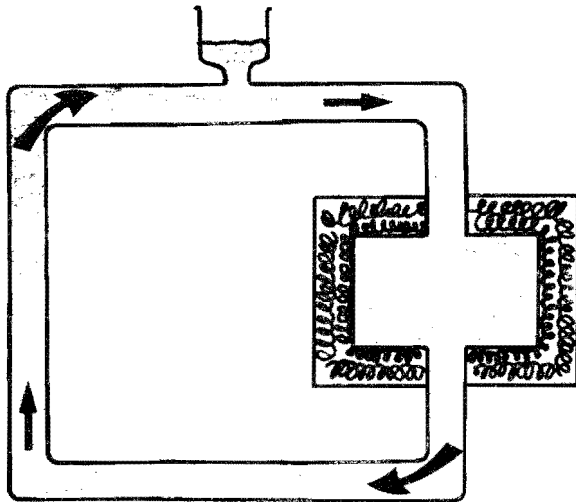
Der Speichertank eines Einfamilienhauses, der nur die erste "Schwäche" ausgleichen soll, und der das Heizungssystem versorgt und warmes Badewasser liefert, kann relativ klein sein, so groß wie einige Elektroboiler zusammen. Soll der Tank auch den zweiten Nachteil ausgleichen, muß er schon einige Kubikmeter fassen können. Soll er sogar erlauben, die Hitze des Sommers in den Winter hinüberzuretten, muß er so groß sein wie ein kleiner Swimmingpool. Weil so ein Speicher sehr teuer ist, ist es häufig günstiger, sich das Geld für einen allzu großen Speicher zu sparen und im Winter mit "künstlicher" Wärme nachzuhelfen. Außerdem gibt es wesentlich einfachere Möglichkeiten, mit Sonne zu heizen.

8.2.3 Der Transport von Energie

Wie steht es nun mit dem zweiten Problem, dem Transport? Über kurze Entfernungen ist der Transport von Wärme oder Bewegungsenergie kein Problem.

Die Abbildung zeigt den Transport einer heißen Flüssigkeit in einem Rohr.

Eigenumlauf



Links unten im Bild: die Flüssigkeit wird erwärmt und dehnt sich aus. Dadurch ist sie "leichter" geworden und wird von der kälteren Flüssigkeit, die in dem Tank (rechts) enthalten ist, verdrängt, die dann ihrerseits aufgeheizt wird: eine Kreisströmung entsteht. Das kleine Gefäß oben ermöglicht es der Flüssigkeit, sich auszudehnen - sonst könnte sie Rohr oder Tank sprengen. Dieses System des Wärmetransports wird "Thermosyphon" genannt. Es hat den Vorteil, daß man keine Pumpe braucht, funktioniert aber nur, wenn:



- die Wärmequelle tiefer liegt als der Speicher,
- das Rohr weit genug ist und die Entfernungen klein sind.

Bewegungsenergie kann man durch mechanische Kraftübertragungen wie Achsen, Stangen, Kette, Riemen, Förderbänder oder Ähnliches transportieren. Diese Methoden sind nicht für den Transport über Entfernungen von mehreren hundert Kilometern geeignet: nach einigen hundert Kilometern hat die Flüssigkeit ihre Wärme längst über die Rohrwand und Isolierung hindurch abgegeben. Auch Bewegungsenergie geht zu schnell "verloren": allein die Reibung der vielen tausend Lager, die für so große Strecken nötig wären, brächte den Transport zum Stillstand.

Wegen dieser Schwierigkeiten transportierte man in früheren Zeiten nicht Energie, sondern Güter. Das Getreide wurde zur Mühle gebracht und dort gemahlen. Danach beförderte man das Mehl zum Bäcker. Überhaupt wurden alle Arbeitsprozesse, zu denen Energie gebraucht wurde, an die Stellen verlegt, wo man die Energie vorfand. Deswegen finden sich die frühesten Industrieansiedlungen an Flüssen: Der Fluß liefert nicht nur die Energie, sondern auch die Transportmöglichkeit. Und auch heute noch wird Stahl - wenn möglich - da erzeugt, wo man nicht nur das Eisenerz, sondern auch die zur Stahlproduktion nötige Kohle findet.

Nun gibt es einen Ausweg aus diesem Dilemma: man transportiert nicht die gewünschte Energie (also Wärme oder Bewegungsenergie) selbst, sondern eine gespeicherte Form dieser Energie. Für die Verwendung als Wärme ist diese Möglichkeit schon lange bekannt, allerdings nur für das, was wir "künstliche Wärme" genannt haben: die mit Brennstoffen erzeugte Wärme. Alles, was man zu tun hat, ist, die Brennstoffe (Heizöl, Kohle, Erdgas usw.) dorthin zu transportieren, wo man Wärme braucht.

Elektrizität ist leicht zu transportieren

Um Energie für *Bewegungszwecke* bereitzustellen, gibt es keinen so einfachen, transportablen Energiespeicher wie für *Wärmezwecke*. Man löst das Transportproblem meist mit der *Elektrizität*.

Wir wissen: Alle Materie besteht aus Atomen und Gruppen von Atomen, den Molekülen. Ein Atom besteht aus einem kleinen Kern, der elektrisch positiv geladen ist, und einer Wolke von Elektronen drumherum. Diese Elektronen sind negativ geladen.

Insgesamt befinden sich in einem Atom ebensoviele negative wie positive Ladungen, die sich gegenseitig anziehen, so daß das ganze Atom im Gleichgewicht, elektrisch neutral ist. Trennt man nun ein Elektron aus dem Atom heraus, muß man die Anziehungskraft überwinden - Arbeit verrichten.

Hat man sie - unter Einsatz von Energie - voneinander getrennt, wollen die Ladungen wieder zusammenkommen. Die getrennten Ladungen enthalten damit potentielle Energie, genauso wie ein Stein auf dem Dach, das Wasser in einem Stausee oder die Lok auf dem Berg. Diese potentielle Energie kann man wieder in Bewegungsenergie zurückverwandeln: man richtet zwischen den getrennten Ladungen einen Weg ein, auf dem die Ladungen so schnell wie möglich wieder zueinander kommen wollen. Aber auf diesem Weg sind Hindernisse (z.B. Elektromotor, Glühlampe) aufgestellt; um diese zu überwinden, müssen die zusammenstrebenden Ladungen Arbeit verrichten: Elektrische Energie.

Damit kommen wir zu der Eigenschaft von Elektrizität, die uns hier am meisten interessiert: Elektrizität ist leicht zu transportieren. Elektrische Ladungen (und zwar Elektronen) können sich in Metallen fast ohne "Reibung", also nahezu verlustfrei bewegen. Aus diesem Grunde verwendet man zum Transport von Elektrizität Metalldraht. Damit hat das Problem des Transports von Bewegungsenergie eine Lösung gefunden: Durch Bewegungsenergie werden im "Generator" (so heißt die Maschine, die Ladungen trennt, also Elektrizität "produziert") Ladungen getrennt. Diese Ladungen werden nun vom Generator im Kraftwerk aus oft Hunderte von Kilometern über einen Draht (Kabel) zu dem "Verbraucher" (z.B. Elektromotor im Staubsauger, Bohrmaschine) geleitet, wo die Arbeit verrichtet werden soll.

Verluste beim Transport elektrischer Energie

Es hieß, daß sich die Ladungen nicht ganz ohne "Reibung" im Leitungsdraht bewegen. Das bedeutet, daß ein Teil der Energie, ob wir wollen oder nicht, den Draht aufheizt und deshalb nicht mehr am anderen Ende des Drahts ankommt. Dieser Verlust ist um so geringer:

- je kürzer der Draht ist,
- je dicker der Draht ist,
- je höher die Spannung ist (deswegen transportiert man Elektrizität in Hochspannungsleitungen über große Entfernungen),
- je geeigneter das Metall ist, aus dem der Draht gemacht ist: am besten sind Gold, Silber, Kupfer und Aluminium geeignet.

Der Verlust im Draht ist nicht immer unwillkommen: In der Glühbirne muß der elektrische Strom durch einen sehr dünnen Draht fließen, der sich dadurch (eben weil er so dünn ist) so stark aufheizt, daß er weißglühend wird und leuchtet. Aber: Etwa ein Zwanzigstel der verbrauchten Energie wird nur in Licht verwandelt. Der Rest geht als Wärme verloren.

Der Transport von Energie in der Form von Elektrizität ist aber auch mit anderen Verlusten verbunden. Kraftwerke müssen gebaut werden, Hochspannungsleitungen mit ihren Masten, Umspannstationen, und schließlich muß auch der Verbraucher ausgerüstet sein mit Leitungen, Zählern, Steckern, Schaltern und Geräten. Das alles ist sehr teuer und benötigt zum Bau viele Rohstoffe und auch Energie ("versteckte" Energie), die damit für den Benutzer verloren ist.

Wie macht man aus Bewegung Strom und umgekehrt?

Wir wissen, jedenfalls so ungefähr, was elektrische Energie ist, aber wie wird sie gewonnen?

Fangen wir "ganz klein" an, bei den Atomen. Wir hatten schon gesehen, daß Atome aus dem *Kern* und der *Hülle* bestehen. Der Atomkern ist viel kleiner als die Hülle, und zwar ist sein Durchmesser mehr als *zehntausendmal kleiner* als der Durchmesser des Atoms.

Obwohl der Kern so winzig ist, enthält er doch fast die gesamte Masse des Atoms, nämlich etwa 99,97 %. Das heißt, daß der Kern etwa 4000 mal schwerer ist als die Hülle. Kern und Hülle unterscheiden sich noch durch ihre elektrische Ladung. Die Hülle, die aus Elektronen besteht, ist negativ geladen, der Kern, der sich aus (positiven) Protonen und (neutralen) Neutronen zusammensetzt, dagegen positiv. Die Hülle trägt genauso viele negative Ladungen wie der Kern positive, so daß das Atom elektrisch neutral ist.

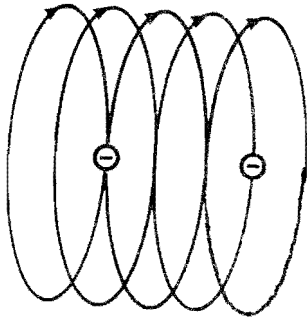
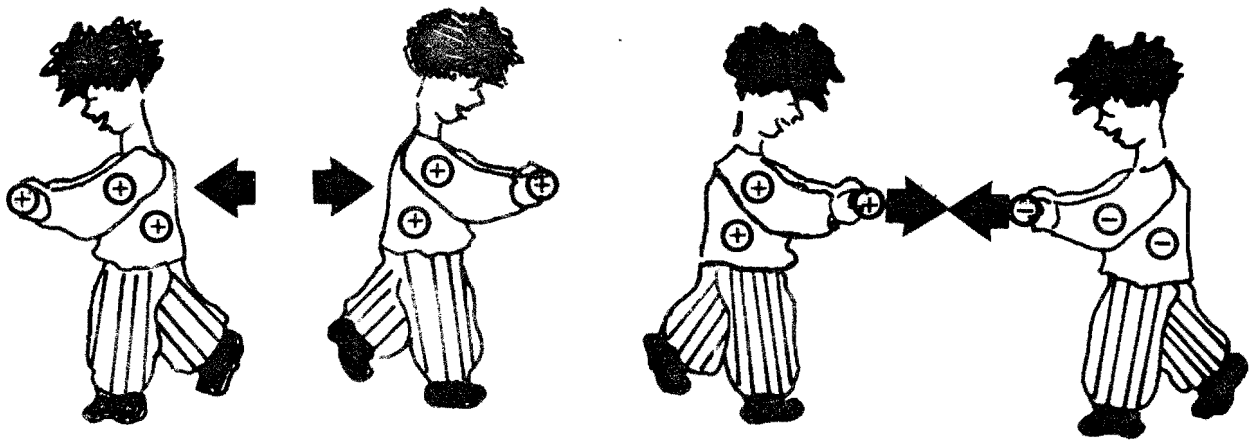
Aber: was ist elektrische *Ladung*? So genau weiß das eigentlich niemand. Einigen wir uns einmal darauf, daß Ladung eine Eigenschaft der Bausteine von Atomen, der "Elementarteilchen" ist. Ein solches Teilchen ist entweder neutral oder es hat eine bestimmte, immer gleichbleibend starke Ladung. Man nennt sie Elementarladung. Ein Elektron ist mit einer Elementarladung negativ geladen. Ein Proton ist mit einer Elementarladung positiv geladen.

Wenn wir schon nicht wissen, was Ladung eigentlich ist, so kennen wir doch ihre Eigenschaften. Nennen wir drei dieser Eigenschaften, die ausreichen, um zu verstehen, wie man aus Bewegung Strom macht und umgekehrt:

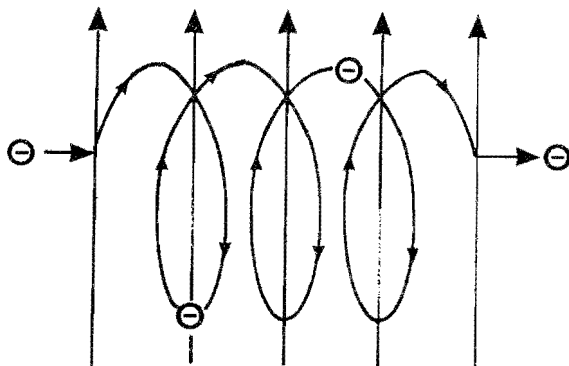
- Entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an, gleichnamige stoßen sich ab.
- Eine bewegte Ladung erzeugt ein Magnetfeld, dieses hat die Eigenschaft, auf eine Ladung, die sich in einem Magnetfeld bewegt, eine Kraft auszuüben, welche die Ladung auf eine kreis-(oder spiral-)förmige Bahn zwingen will. Diese drei Eigenschaften sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Elektrische Ladungen und ihre Bewegungen

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.



Bewegt sich eine Ladung (hier von links nach rechts), so wird ein Magnetfeld erzeugt.



Gerät eine bewegte Ladung in ein äußeres Magnetfeld, wird sie auf eine korkenzieherförmige Bahn gezwungen. Die Kraft, die vom Magnetfeld auf die Ladung ausgeübt wird, wirkt stets senkrecht zur Bewegung der Ladung und senkrecht zum Magnetfeld.

Der Rest ist ganz einfach. Stellen wir uns vor, wir hätten ein Magnetfeld erzeugt. In diesem Magnetfeld bewegen wir jetzt einen Draht, so wie das in der Abbildung dargestellt ist. Wir hatten ja schon gehört, daß es in einem Draht leicht bewegliche Elektronen gibt. Auf diese Elektronen wird jetzt eine Kraft ausgeübt, die alle in eine Richtung "schiebt". Was passiert? An einem Ende des Drahts befinden sich jetzt mehr Elektronen als Protonen, am anderen Ende ist es umgekehrt. Man sagt, ein Ende ist positiv geladen, das andere negativ. Man kann auch sagen, daß man eine *Spannung* erzeugt hat. Denn entgegengesetzte Ladungen ziehen sich ja an: gibt man ihnen die Möglichkeit (indem man etwa aufhört, den Draht durch das Magnetfeld zu bewegen), "schnappen" sie wieder in ihre Ausgangspositionen zurück, so wie auch ein Stock, den man mit Kraft unter Spannung (etwa gebogen) hält, wieder zurückschnappt, wenn die Kraft aufhört. Im allgemeinen macht man es jedoch anders: man schließt den Draht zu einem Kreis, dem *Stromkreis*, der zu einem Teil außerhalb des Magnetfelds verläuft. Dort wird

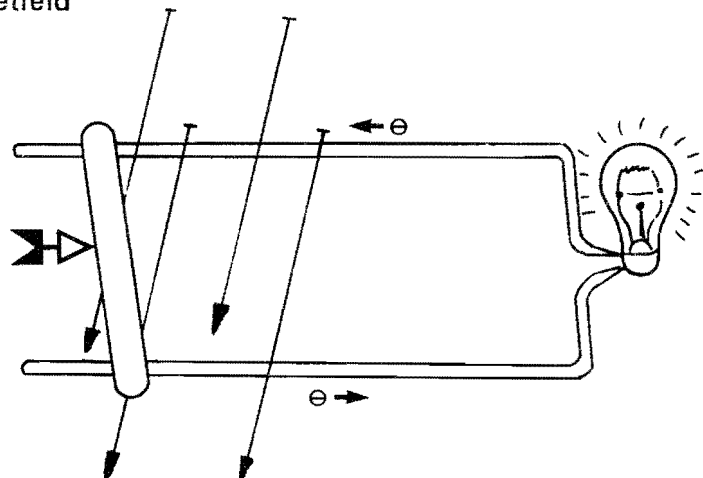
auf die Elektronen keine Kraft ausgeübt und sie gleichen auf diesem Umweg die Spannung aus. Dabei kann man sie Arbeit verrichten lassen. Solange man also den Draht im Magnetfeld bewegt, fließt im Stromkreis ein *Strom* von Elektronen: wir haben aus Bewegung Strom erzeugt.

Umgekehrt funktioniert unser Gerät auch. Lassen wir einmal den Draht ruhig im Magnetfeld hängen und einen Strom hindurchfließen. Auch jetzt bewegen wir Ladungen in einem Magnetfeld, zwar nicht mehr durch Bewegung des Drahts, sondern durch Bewegung der Ladungen im Draht (eben durch den Strom). Auch so wird auf die Ladung Kraft ausgeübt, die jetzt dazu führt, daß sich der Draht von dieser Kraft getrieben bewegt. Wir haben also aus Strom Bewegung gemacht.

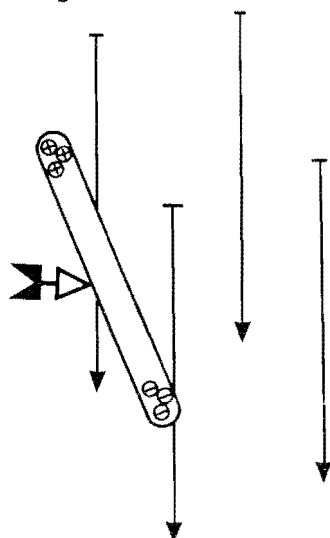
Auf diesem Prinzip beruhen Elektromotoren und Generatoren. Beides sind fast gleiche Maschinen, die man nur nach ihrer Funktion unterscheidet, eben ob sie Strom liefern sollen oder Bewegung. In der Elektrotechnik bewegt man nicht eine gerade Drahtschlinge im Magnetfeld, sondern meist einen sehr langen Draht, der zu einer Spule (Anker) gewickelt ist. Auch das Magnetfeld wird mit einer Spule (Feldspule) aufgebaut. Durch die vielen Wicklungen wird die Maschine leistungsfähiger. Das Funktionsprinzip bleibt aber das gleiche.

Elektrische Ladungen im Magnetfeld

Sorgt man dafür, daß beide Enden eines Drahts, den man so durchs Magnetfeld bewegt, leitend verbunden werden, fließen die Ladungen wieder zusammen und können dabei Arbeit verrichten, so wie hier in einer Glühbirne. So funktioniert ein Generator. Man steckt Arbeit hinein (Pfeil) und erzeugt damit Elektrizität.

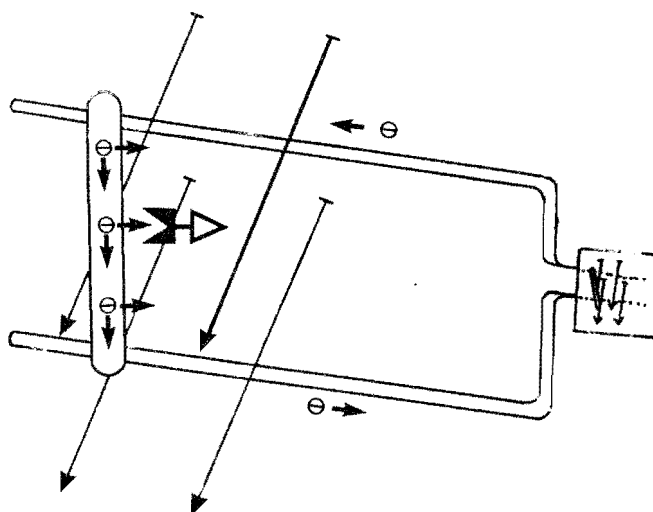


In der Praxis wird in einem Generator der Draht meist zu einer dichten Spule aufgewickelt. Auch das Magnetfeld wird in einer stromdurchflossenen Spule aufgebaut.

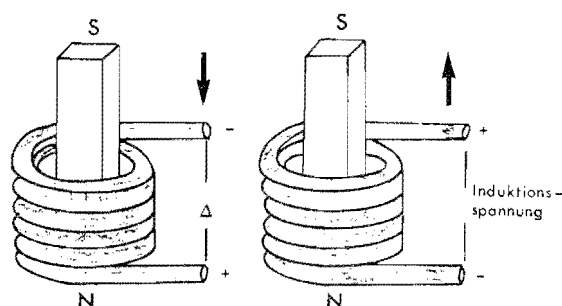


Bewegt man einen Draht durch ein Magnetfeld (und zwar so, daß Draht, Richtung der Bewegung und Magnetfeld je aufeinander senkrecht stehen), trennen sich die Ladungen im Draht. Sie "schnappen wieder zurück", wenn der Draht (oder das Magnetfeld) wieder stillsteht.

Ein Elektromotor wirkt umgekehrt. Rechts im Bild (kleiner) wieder der Generator, der dafür sorgt, daß in unserem Stromkreis ein Strom fließt, also sich Elektronen bewegen. Auf diese bewegten Elektronen wird im Magnetfeld eine Kraft ausgeübt; diese Kraft schiebt den Draht, der in der Praxis zu sehr vielen Windungen gewickelt ist, nach rechts (siehe Pfeil). Diese Bewegung wirkt sich insgesamt in einem Elektromotor als Drehbewegung aus. Wir haben aus Elektrizität Bewegungsenergie gemacht, die wir zur Arbeit nutzen können.



Umwandlung der Muskelkraft in elektrische Energie



Material:

Spule mit 1000 Windungen, Stabmagnet, Strommeßgerät, Glühlampe, Kabel.

Bewege den Stabmagneten in der Spule wie angezeigt. Was stellst Du fest?

Kommentar: Sowohl beim Einführen als auch beim Herausziehen des Magneten leuchtet das Lämpchen auf. Das Meßgerät zeigt zwei Stromstöße in entgegengesetzter Richtung. Der bewegte Magnet bringt offensichtlich mit Hilfe seiner magnetischen Kräfte die Elektronen in der Spule in Bewegung: Sie drängen sich zu dem einen Spulenenende. Dort entsteht ein Elektronenüberschuß, also ein Minuspol. Vom anderen Spulenenende werden die Elektronen abgezogen. Wegen Elektronenmangel ist dort der Pluspol. Zwischen Plus- und Minuspol besteht eine Induktionsspannung, ein Induktionsstrom fließt.

8.2.4 Die Umwege bei der Energiegewinnung

Bisher wurde nur von *direkter Energiegewinnung* geredet, Wärme aus Wärme und Bewegung aus Bewegung. Man kann aber auch Wärme aus Bewegung machen und umgekehrt. Wir nennen diese Möglichkeiten Umwege, und zwar *Wärmeumweg*, wenn man Bewegung aus Wärme machen will und *Bewegungsumweg*, wenn man mit Bewegung Wärme erzeugen will. Warum Umweg? Weil man nicht das herstellt, was man letztlich braucht, sondern zuerst etwas anderes, und dieses andere dann umwandelt. Dabei muß man Verluste in Kauf nehmen. Trotzdem lohnt sich der Umweg in vielen Fällen, so wie sich eben ein Umweg lohnt, wenn der direkte Weg schwer oder gar nicht passierbar ist. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen der Umweg widersinnig ist.

o Der Wärmeumweg

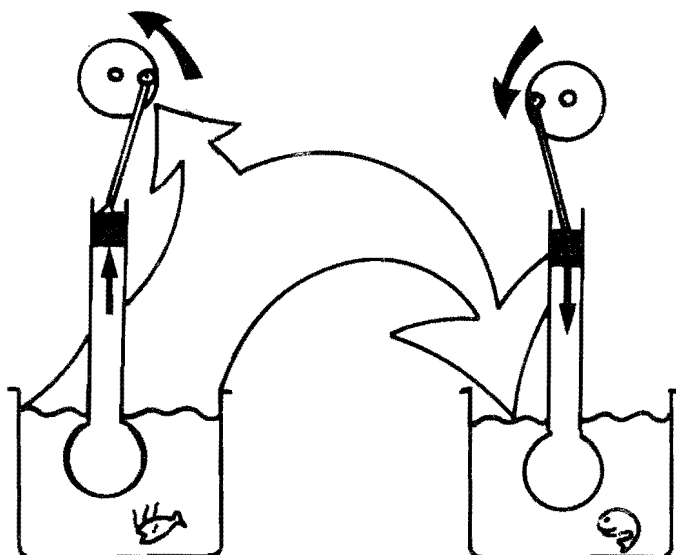
Fangen wir mit dem Wärmeumweg an, die Erzeugung von *Bewegungsenergie aus Wärme*. Man nützt dabei aus, daß die meisten Stoffe mehr Platz beanspruchen, wenn man sie aufheizt (es gibt wenige Ausnahmen). Jeder hat das schon beobachtet: ein leerer Benzinkanister, der eine Weile im heißen Kofferraum lag, wird fast zu Kugelform gebläht, und die Säule in einem Thermometer steigt, wenn es wärmer wird. Bei der Ausdehnung von Körpern durch Wärme entsteht eine Kraft, die man sich nützlich machen kann.

Das Flüssigkeits-Thermometerkraftwerk

Um zu verstehen, wie man aus Wärme Bewegungsenergie macht, **bauen wir einmal in Gedanken ein kleines Kraftwerk**, und zwar mit Hilfe eines Flüssigkeitsthermometers. Ein Flüssigkeitsthermometer besteht aus einem großen Gefäß und einem kleinen Steigrohr, gefüllt mit einer Flüssigkeit (man verwendet dazu meist Quecksilber oder Alkohol). Es ist klar, warum das Steigrohr im Vergleich zum Gefäß klein sein sollte: so bewirkt schon eine geringe Änderung der Temperatur - und damit des Volumens der Flüssigkeit - eine merkliche Erhöhung des Flüssigkeitsspiegels im Rohr. Zum Kraftwerk fehlt einem solchen Thermometer nur noch eines: ein Kolben im Steigrohr, der zwar leicht verschieblich ist, aber dennoch dicht abschließt, der sich also hebt, wenn der Flüssigkeitsspiegel sinkt. An diesen Kolben schließen wir jetzt noch einen Pleuel an (das ist eine Stange, die gradlinig gerichtete Kraft auf ein Rad überträgt). Fertig ist das Kraftwerk. Wir stören uns hier nicht daran, daß es sehr schwierig wäre, ein solches Kraftwerk mit einem normalen Thermometer auch wirklich zu bauen - das Steigrohr ist viel zu dünn. Man müßte sich schon ein extragroßes Thermometer bauen.

Flüssigkeits-Thermometerkraftwerk

Das Thermometer steckt im heißen Wasser. Dadurch wird der Kolben nach oben geschoben und dreht das Rad. Dann wird das Thermometer ins kalte Wasser gesteckt. Der Kolben sinkt und das Rad dreht sich weiter. Der große geteilte Pfeil deutet an, daß ein Teil der Wärme des heißen Wassers im Verlaufe des Prozesses an das kalte Wasser abgegeben wird (Abwärme). Der andere Teil wird in Bewegungsenergie verwandelt.



Wie benutzt man unser Thermometerkraftwerk? Alles, was wir noch dazu brauchen ist je ein Topf heißen und kalten Wassers. Fangen wir also an und stecken das Gefäß des Thermometers ins heiße Wasser. Jetzt steigt das Thermometer und drückt damit den Kolben nach oben. Dadurch macht das Rad eine halbe Umdrehung. Sobald diese halbe Umdrehung erfolgt ist, nehmen wir den Topf mit dem heißen Wasser weg und stecken das Thermometer ins kalte Wasser: die Thermometersäule sinkt, und das Rad dreht sich wieder um eine halbe Umdrehung weiter. Nach dieser halben Umdrehung fangen wir wieder von vorne an. Wie wir sehen, haben wir aus Wärme Bewegungsenergie gemacht, und mit dieser Bewegungsenergie könnten wir Arbeit verrichten. Zugegeben: Unser Thermometerkraftwerk ist sehr unpraktisch. Auf die Dauer wäre es sehr lästig und energieverschwendend, Töpfe mit heißem und kaltem Wasser herumzutragen. Deswegen macht man das auch in Wirklichkeit anders, etwa mit Dampfmaschinen, Dampfturbinen und Verbrennungsmotoren. Das Prinzip allerdings bleibt das gleiche. Unser Thermometerkraftwerk hat aber auch einen Vorteil: er ist einfach und anschaulich; man kann einiges daraus lernen, was auch für große, technische Kraftwerke gilt.

Verfolgen wir nochmal eine Umdrehung des Rades. Erst heizen wir die Flüssigkeit im Thermometer auf. Wieviel Wärme brauchen wir dafür?

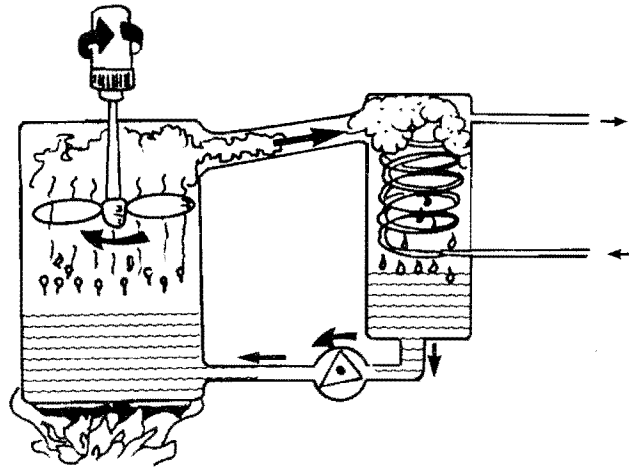
1. Wir brauchen zunächst soviel Wärme, wie nötig wäre, die Flüssigkeit aufzuheizen, wenn kein Kolben im Thermometer steckte. Das ist aber nicht alles:
2. Wir müssen auch noch die Energie (in Form von Wärme) hineinstecken, die gebraucht wird, um den Kolben zu verschieben und das Rad zu drehen. So bleibt die Energie erhalten.

Welchen Teil der Wärme wir nun tatsächlich zur Erzeugung von Bewegungsenergie verwendet haben, wird uns spätestens klar, wenn wir das Thermometer wieder ins kalte Wasser stellen. Nehmen wir jetzt mal an, der Kolben übe auf dem Rückweg keine Kraft auf die Flüssigkeitssäule des Thermometers aus (man kann das zum Beispiel dadurch erreichen, daß man das Gewicht des Kolbens richtig wählt). So wird nur in der Aufheizphase aus Wärme Bewegung gemacht. Wieviel Wärme gibt dann das Thermometer an unseren Kaltwassertopf ab? Doch wohl gerade soviel, wie wir brauchten, um vorher *ohne Kolbendruck* die Flüssigkeit aufzuheizen, also den ersten Teil; denn wenn ich etwas nur aufheize und dann wieder auf die Ausgangstemperatur abkühle, darf dabei ja keine Energie verlorengehen. Das bedeutet, daß der Teil 1 der Wärme, den wir zum Aufheizen des Thermometers gebraucht haben, einfach vom heißen Wasser ins kalte übergeht, *ohne irgendeine Bewegungsenergie zu erzeugen*. Nur der Teil 2 wird genutzt.

Wie ist also die Energiebilanz unseres Thermometerkraftwerks? Bei jeder Runde des Rades wird der Topf mit heißem Wasser etwas kälter. Ein Teil der Wärme, die er abgibt, wird in Bewegungsenergie verwandelt - er dreht das Rad. Der andere Teil geht in den Topf mit kaltem Wasser, der sich dadurch erwärmt. Diesen Teil der Wärme, der keine Arbeit leistet, nennt man die *Abwärme*.

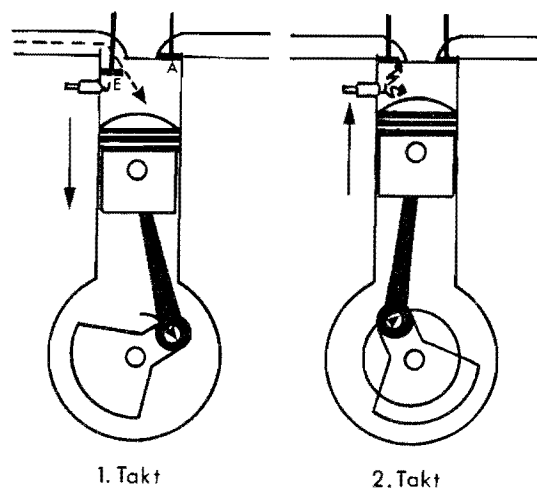
Die Funktionsweise der Dampfturbine

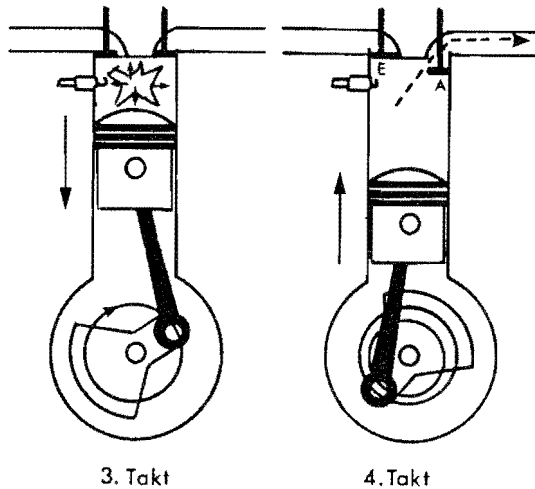
Links unten im Bild wird Wasser gekocht. Der entweichende Dampf dreht die Turbine (hier durch einen Propeller schematisch dargestellt), die wiederum einen Generator antreibt (links oben). Der Dampf wird dann durch Kühlung wieder zu Wasser gemacht (rechts oben), das Wasser wird wieder in den Kessel gepumpt.



Für Transporte (Auto, Schiff) erzeugt man die Bewegungsenergie meist in einem *Verbrennungsmotor*. Ein solcher Motor hat viel Ähnlichkeit mit einer Dampfmaschine - auch hier wird ein Kolben bewegt. Allerdings gibt es einen sehr wichtigen Unterschied: die Verbrennung findet nicht (wie bei der Dampfmaschine) unter einem Kessel statt, der vom Zylinder mit seinem Kolben getrennt ist, sondern *im Zylinder selbst*. Man verwendet auch nicht Wasser und Dampf als Treibmittel, sondern eine Mischung aus Luft und dem Brennstoff (Benzin, Heizöl, Gas usw.). Dieses Gemisch wird in den Zylinder gebracht und dort entzündet. Die dabei entstehenden Verbrennungsrückstände (Kohlendioxid, Wasserdampf) sind heiß und nehmen daher mehr Platz weg als das ursprüngliche unverbrannte Luft-Brennstoff-Gemisch. Wie bei der Dampfmaschine läßt man dieses heiße Gas aber nicht direkt entweichen, sondern vorher einen Kolben bewegen: diese Arbeit wird dann genutzt.

Funktionsweise des Verbrennungsmotors





Gezeigt ist der Viertaktmotor. Das Gasgemisch aus Luft und Brennstoff wird durch den Kolben angesaugt (1. Takt). Dann schließt sich das Einlaßventil, und der Kolben verdichtet das Gemisch (2. Takt). Ist der Kolben oben angelangt, wird das Gemisch gezündet (3. Takt). Dadurch wird der Kolben nach unten gedrückt. Dann wird das Auslaßventil geöffnet und der Kolben schiebt das verbrannte Gemisch aus dem Zylinder (4. Takt).

Vorteile des Wärmeumwegs

Mancher wird jetzt fragen, warum man denn überhaupt etwas macht, was mit so großen Verlusten verbunden ist. Dafür gibt es Gründe:

Bewegungsenergie läßt sich nur in beschränktem Umfang direkt gewinnen. Die einzige wirklich praktische Möglichkeit, Bewegungsenergie mit relativ geringen Verlusten über große Entfernungen zu transportieren, ist die Elektrizität. Man kann also mit Wind und Wasser zu Elektrizität kommen und diese dann im Draht übers Land schicken. Man ist aber an einen Draht gebunden, und das ist nur dann praktisch, wenn man mit dem Stromverbraucher an Ort und Stelle bleibt oder - wie für die elektrische Eisenbahn - feste Wege und Oberleitungen hat. Andernfalls ist es praktischer, gespeicherte Wärme in Form von Brennstoff mitzunehmen und die unterwegs in Bewegung zu verwandeln. Oder den Wind - wie beim Segelschiff - direkt zu nutzen.

o Energieumwandlungen und -umwandlungsverluste beim Auto und Kraftwerk

Auto

Die einem Energiewandler zugeführte Energie kann in der Regel niemals vollständig in die gewünschte nutzbare Energieform überführt werden. Den Anteil der Energie, der bei der Umwandlung nicht die gewünschte Form annimmt, bezeichnet man als Umwandlungsverlust.

Bei jedem Energieumwandlungsprozeß gilt:

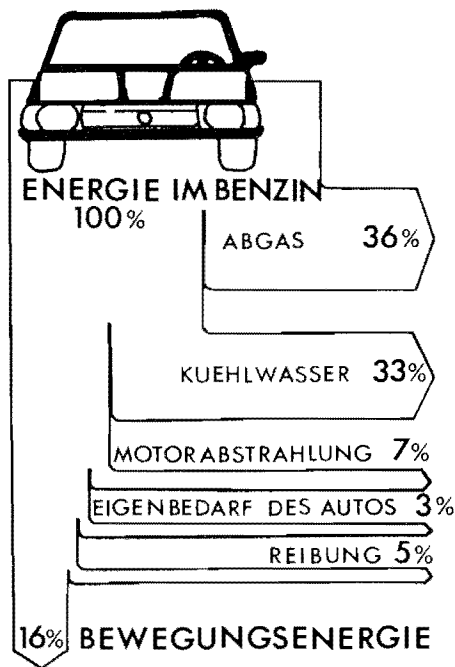
$$E_{zu} = E_{nutz} + E_v$$

E_{zu} : = Zugeführte Energie

E_{nutz} : = Nutzbar abgegebene Energie (auch Zielenergie)

E_v : = Energieverluste

Zielenergie beim Auto:



Bewegungsenergie bzw. Beschleunigungsarbeit zum Anfahren, zum Überwinden von Steigungen und zum Überwinden des Luftwiderstandes.

Umwandlungsverluste beim Auto:

Vorgang	Verluste
Angesaugtes Benzin-Luft-Gemisch verbrennt	Motorblock erwärmt sich und strahlt Wärme ab; Weißes Abgas wird aus dem Auspuff ausgestoßen; Kühlwassererwärmung
Kolben, Kurbelwelle und Getriebe werden bewegt	Reibungsverluste in Lagern und Zahnradern
Lichtmaschine, Wasserpumpe, Lüfter werden angetrieben	Eigenbedarf des Autos
Antriebsenergie wird von den Rädern auf die Straße übertragen	Reibungsverluste

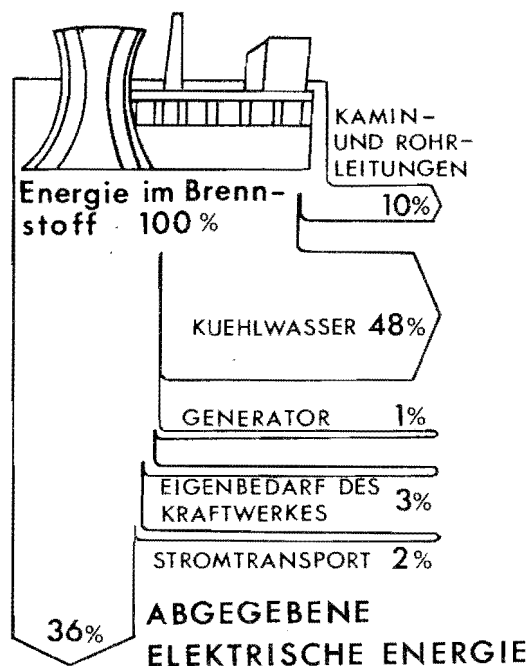
Kraftwerk

Umwandlungsverluste beim Kraftwerk:

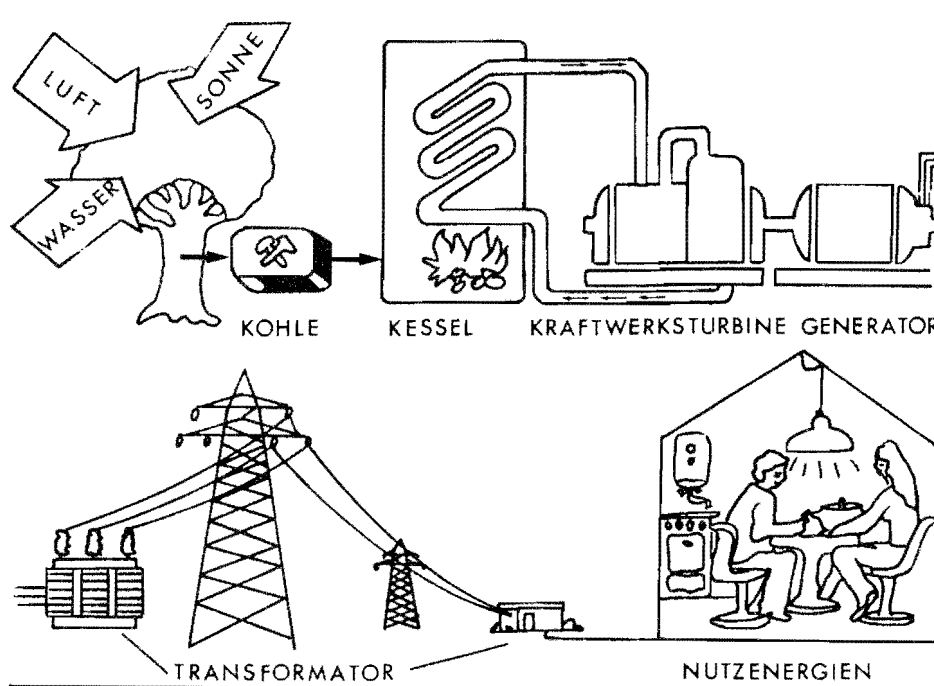
Vorgang	Verluste
Brennstoff verbrennt im Kessel; Kesselwasser wird verdampft	Warme Abgase werden gefiltert aus dem Kamin abgegeben; Rohrleitungen und Kesselwandungen strahlen Wärme ab
Heißer Dampf treibt die Turbine an und wird zu Wasser kondensiert	Kühlwasser für die Kondensation wird erwärmt
Turbine treibt den Generator	Reibungsverluste
Antrieb von Pumpen und Ventilatoren	Eigenbedarf des Kraftwerks
Übertragung der elektrischen Energie zum Verbraucher	Stromwärmeverluste im Übertragungsnetz

Die Energieumwandlungen beim Auto und beim Kraftwerk sind isoliert betrachtet worden. Zu beachten ist, daß dem Wärme-Kraft-Prozeß im Auto z.B. die Herstellung von Benzin aus Erdöl in einer Raffinerie vorausgeht (der Raffinerieprozeß läuft mit einem mittleren Wirkungsgrad von 93 % ab).

Sowohl die Raffinerie wie auch dem Kraftwerk sind wiederum Prozesse der Energiegewinnung und des Energietransports vorgeschaltet, bei denen jeweils ein Energieeigenbedarf in Ansatz gebracht werden muß. Ein Eigenenergiebedarf ist in der Bilanz rechnerisch gleichbedeutend mit einem Energieumwandlungsverlust.



Dem rein thermodynamischen Kraftwerksprozeß folgt hinter der Kraftwerksturbine die Umwandlung von Drehbewegungsenergie zu elektrischer Energie im Generator (Wirkungsgrad ca. 98 %). Dann folgen über Transformatoren und Leitungen die Übertragung und Verteilung elektrischer Energie (Wirkungsgrad 95 %). Erst beim Kunden des Elektrizitätswerks geschieht mit Hilfe geeigneter Energiewandler die Umwandlung in die gewünschte Nutzenergieform, z.B. Licht, Wärme oder mechanische Arbeit.



8.2.5 Der Bewegungsumweg

Kommen wir nun auf den anderen Umweg zu sprechen, den Bewegungsumweg, also die Erzeugung von *Wärme aus Bewegungsenergie*. Wir wissen, daß ein Teil der Energie, die man in Form von Elektrizität durch einen Draht schickt, dadurch verloren geht, daß sie in Wärme verwandelt wird. Will man Energie transportieren, macht sich das als Verlust bemerkbar. Will man dagegen mit Elektrizität heizen, ist dieser Verlust das, was man braucht. Eine Elektroheizung ist also einfach ein Draht, in dem beim Transport von Elektrizität starke Verluste auftreten. Im technischen Sprachgebrauch sagt man: ein Draht mit genügend hohem *Widerstand*. Durch diesen Draht läßt man Strom fließen, der Draht wird heiß - fertig ist die Elektroheizung. Man wird leicht sehen, daß eine solche Heizung Vorteile besitzt:

- Man kann damit *sehr hohe Temperaturen* erreichen; denn die höchstmögliche Temperatur eines Heizdrahts (in einer geeigneten Umgebung - manche Drähte verbrennen, wenn man sie an der Luft erhitzt) ist erst dann erreicht, wenn der Draht anfängt zu schmelzen. Und die Schmelztemperaturen einiger Metalle liegen bei mehreren tausend Grad Celsius.
- Man kann die Temperatur einer Elektroheizung *gut regeln*. Man braucht nur die Stromstärke zu erhöhen oder zu verringern, die durch den Heizdraht fließt, indem man den Strom anschaltet, wenn die Temperatur zu weit absinkt, und abschaltet, wenn sie zu weit steigt (Thermostat).

- Elektroheizung ist *sauber*: es entstehen durch den Heizdraht keine Abgase und keine Verbrennungsrückstände.
- Die Umwandlung von Elektrizität in Wärme ist praktisch *verlustfrei*. Das bedeutet, daß fast alle elektrische Energie, die man in der Heizung verbraucht, auch tatsächlich zum Heizen ausgenutzt wird.

Warum heizt man denn nicht nur noch elektrisch? Nun, leider hat auch die Elektroheizung einige Nachteile, die ihre Vorteile in den meisten Fällen mehr als aufwiegen. Und zwar liegt das daran, daß wir Bewegungsenergie, die sich ja leicht in Elektrizität verwandeln läßt, in der Natur nur begrenzt vorfinden. Die Wasserkraftwerke (Stauseen) reichen nicht aus. Und sobald wir Elektrizität über den Wärmeumweg erzeugen, sieht es mit den letzten beiden Vorteilen (sauber und verlustfrei) nicht mehr so gut aus:

- *Der Dreck entsteht* zwar nicht am Heizdraht, aber dafür *im Kraftwerk*; denn dort wird die nötige Wärme nicht elektrisch erzeugt.
- *Die Verluste entstehen* zwar nicht im Heizdraht, aber dafür *im Kraftwerk* und auf dem Weg vom Kraftwerk zum Verbraucher. (Der Leitungsverlust gilt jedoch auch für Wasserkraftwerke). Der größte Verlust entsteht jedoch durch die Abwärme des Kraftwerks. Und die ist im Normalfall etwa doppelt so groß wie die elektrische Energie, die das Kraftwerk erzeugt.

Elektroheizung ist Verschwendung

Wir sehen, der Dreck wird woanders gemacht, und für jede Einheit Energie, mit der wir elektrisch heizen, gehen zwei Einheiten Energie nutzlos verloren (da gibt es allerdings Ausnahmen, auf die wir noch zu sprechen kommen). Elektroheizung ist also in der Praxis ein schlechtes Geschäft, ein gutes Geschäft nur für die Elektroindustrie. Dazu kommt, daß der Bau von Kraftwerken und Verteilernetzen (also alle Einrichtungen zwischen Kraftwerk und Verbraucher: Hochspannungsleitungen, Umspannstationen, Niederspannungsleitungen und alle elektrischen Installationen) sehr teuer ist, und zwar um ein Vielfaches teurer als die Einrichtungen für andere Systeme der Energieversorgung. Dieser ganze Aufwand ist für Heizzwecke nur dann gerechtfertigt, wenn es gar nicht anders geht, also etwa für besonders hohe Temperaturen, die sich nicht anders als elektrisch erreichen lassen und für Spezialzwecke. Niedrige Temperaturen, wie sie etwa für die Hausheizung oder die Warmwassererzeugung gebraucht werden, elektrisch zu erzeugen, ist eine grandiose Verschwendung.

"Strom kommt sowieso ins Haus, nutz das aus!"

(Mit diesem Spruch wurde 1979 für elektrische Heizsysteme geworben.)

Merkwürdig - weil es in der Natur so wenig zugängliche Bewegungsenergie gibt, schlägt man den Wärmeumweg ein und nimmt dabei große Verluste in Kauf, die als Abwärme in die Umgebung verpuffen. Und dann macht man teilweise aus dieser dabei so teuer erkaufte Bewegungsenergie wieder Wärme, heizt Wohnungen und Häuser elektrisch! Ja halt, was ist denn mit der Abwärme? wird mancher jetzt fragen. Kann man die denn nicht wieder nutzen? In der Tat, man kann. Die Stichworte dazu heißen *Kaskadenprozesse* und *Kraft-Wärme-Kopplung* oder ganz allgemein *integrierte Prozesse*. Davon ist seit ein paar Jahren viel die Rede.

Abwärme kann man nutzen

Dezentrale Wärme-Kraft-Kopplung

Hierbei wird, wie der Name vermuten läßt, nicht nur Kraft (oder Bewegungsenergie) gewonnen, sondern auch Wärme. Diese Wärme fällt nicht nur wie von selbst an - das kann man ja gar nicht vermeiden -, sondern sie wird auch genutzt, indem man sie etwa in wärmeisolierten Rohren dahin leitet, wo sie gebraucht wird. Sie geht also nicht mehr als Abwärme verloren. Nutzen kann man diese Wärme zu vielerlei Zwecken, man kann Wohnungen damit heizen (Fernheizung), Warmwasser bereiten. Wir sehen sofort, daß das ein sinnvolles Geschäft ist: vorher war die Abwärme nutzlos in die Luft gestiegen oder hat einen Fluß - schädlich - erwärmt, jetzt heizt sie Wohnungen, die vorher vielleicht für teures Geld - womöglich elektrisch - geheizt werden mußten.

Leider hat auch die Kraft-Wärme-Kopplung ihre Grenzen. Man kann Wärme in Rohren nicht allzuweit transportieren (u. a. Kosten für die Rohrinsolierung). Es ist daher einsichtig, daß sich die Sache bei allzu großen Kraftwerken nicht mehr lohnt: es entsteht bei ihnen einfach zu viel Abwärme, als daß man sie sinnvoll in der näheren Umgebung verwenden könnte.

Deshalb "Dezentrale Wärme-Kraft-Kopplung"!

Als Standorte für diese Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen (WKK) bieten sich an: Wohnbauten, öffentliche Gebäude, Gewerbebetriebe und Industrieanlagen. In diesen Bereichen wird Heizwärme bislang vorwiegend in Kesseln mit Öl-, Gas- oder Kohlefeuerung erzeugt. Die Primärenergienutzung liegt dabei im Mittel kaum über 60 %. Werden an Stelle der Kesselanlagen gas- oder ölbetriebene Verbrennungsmotoren gekoppelt mit einem Generator installiert, so stehen hier ebenfalls ca. 60 % der Primärenergie als Motor- und Generatorwärme für Heizung und Heißwasser zur Verfügung. Zusätzlich aber liefert die Anlage je nach Güte 20 bis 30 % Elektrizität, die ins öffentliche Netz eingespeist werden kann.

Diese Kopplung entspricht sehr gut dem bestehenden Zusammenhang zwischen Strom- und Wärmebedarf. Der Spitzenbedarf an Strom ist im Winter am größten, so daß in dieser Zeit die WKK-Anlagen häufiger in Betrieb sein werden. Dies bedeutet eine gute Anpassung an den hohen winterlichen Wärmebedarf. In den wärmeren Jahreszeiten sinken die Spitzenlasten des Netzes und damit auch die Laufzeiten der WKK. Auch dies entspricht dem dann sinkenden Wärmebedarf.

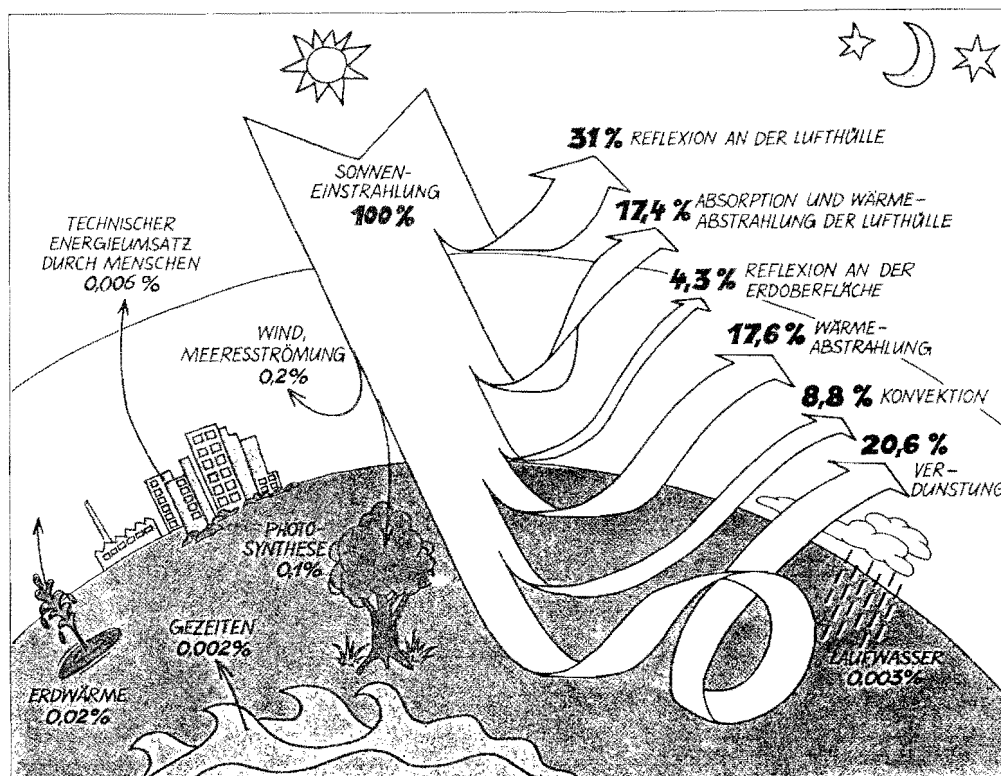
Es stellt sich die Frage, warum Wärme-Kraft-Kopplung, die optimale Energienutzung ermöglicht, nicht schon längst zum Hauptbestandteil unserer Energienutzungssysteme geworden ist. Die Hauptursache liegt an den Monopolrechten der Elektrizitätsversorgungsunternehmen, die private und industrielle Stromerzeuger blockieren. Zum Glück (für die Elektrizitätsgesellschaften) gibt es ein Gesetz, daß keine *Lieferverpflichtung* für Strom besteht, wenn der Abnehmer selber Strom erzeugt. Also: wenn der entsprechende Betrieb zusätzlichen Strom braucht, weil etwa seine eigene Kapazität nicht reicht (oder gerade repariert wird), stellt das E-Werk den Strom ab - oder droht damit. Und schon wird der Selbstversorger "vernünftig" und verzichtet erst einmal auf Selbstversorgung. Solche Methoden gelten normalerweise in einer Marktwirtschaft als unlauter. Trotzdem haben es die E-Werke so geschafft, die Eigenproduktion der Industrie an Elektrizität, die nach dem Kriege noch einen wichtigen Teil der Stromversorgung sicherstellte, auf einen minimalen Anteil zurückzudrängen. Die auf diese Weise brachlie-

genden Energiekapazitäten entsprechen gegenwärtig fast der augenblicklichen Kapazität der deutschen Kernkraftwerke. So dringend brauchen "wir" die Kernkraft. Um im Geschäft zu bleiben, bieten die E-Werke der Industrie auch noch Dumping-Tarife an, die oft nur ein Fünftel des Strompreises für Privathaushalte betragen.

8.3 Energieversorgung heute

8.3.1 Energiebilanz der Erde

Dem Planeten Erde wird ständig eine Sonnenstrahlungsleistung von 175 000 000 000 Megawatt (= 175 Milliarden Megawatt = $175 \cdot 10^{15}$ Watt) zugestrahlt. Diese Leistungs bzw. dieser zeitliche Energiefluß ist in der Abbildung gleich 100 % gesetzt.



Energiebilanz der Erde

Nach: RWE Energie AG 19917, S. 29.

Die Energie, die der Erde zugestrahlt wird, wird im zeitlichen Mittel praktisch vollständig an den Weltraum abgegeben: teilweise direkt durch Reflexion als kurzwellige Lichtstrahlung, teilweise zeitlich verzögert als langwellige Wärmestrahlung.

Verteilung der eingestrahltten Sonnenenergie:

- 31,0 % werden an der Lufthülle reflektiert;
- 17,4 % werden von der Lufthülle aufgenommen;
- 51,6 % der Sonnenenergie erreichen die Erdoberfläche: An der Oberfläche werden davon 4,3 % reflektiert, der Anteil der Wärmeabstrahlung beträgt 17,6 %, der der Konvektion 8,8 % und der der Verdunstung 20,6 %. Etwa 0,2 % wird in Winde und Meeresströmungen umgewandelt. Schließlich wird noch 0,1 % durch Photosynthese von den Pflanzen aufgenommen.

Die Energiebeiträge aus den Gezeiten und der Erdwärme machen weniger als ein Tausendstel der Sonneneinstrahlung aus. Die Gezeitenenergie entstammt der Erdrotation, die in Verbindung mit der Anziehungskraft zwischen Erde und Mond sowie Erde und Sonne die Erscheinung von Ebbe und Flut bewirkt. Der geothermische Energiestrom aus dem Erdinnern ist teils auf die Ursprungswärme des Planeten Erde, zum überwiegenden Teil jedoch auf den wärmeerzeugenden Zerfall radioaktiver Isotope in den Gesteinsschichten der Erdkruste zurückzuführen.

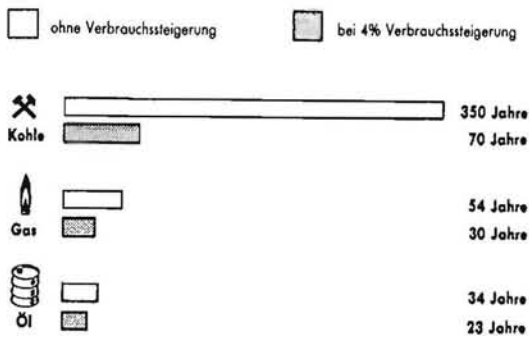
8.3.2 Energiequellen

Wir unterscheiden zwischen *erneuerbaren Energiequellen*, wie z.B: Wasser und Windkraft, Sonne und "Biomasse" (so nennt man alle pflanzlichen und tierischen Produkte, deren Energie man nutzt wie Holz, Kompost) und *nicht-erneuerbaren Energiequellen*. Die nicht-erneuerbaren Energiequellen sind Kohle, Öl, Gas und Kernbrennstoffe. Man nennt alle diese Energiequellen auch Primärenergien. Die wichtigsten Primärenergien sind in der Grafik aufgeführt.

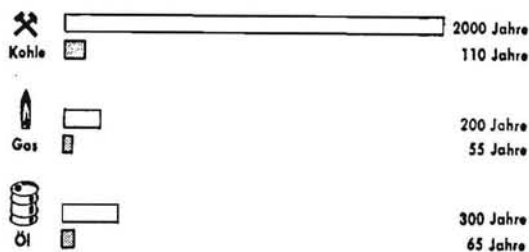
Vorräte an nicht-erneuerbaren Energiequellen.¹⁾

(Angaben der Weltenergiekonferenz 1980, nach Seifried 1986, S. 16)

Reichweite der 1980 bekannten Weltenergiereserven



Reichweite der Weltenergieressourcen (geänderter Maßstab)



1) Als *Reserven* werden diejenigen Rohstoffvorkommen bezeichnet, die mit der gegenwärtigen Technologie unter wirtschaftlichen Bedingungen erschließbar sind. Zu den Ressourcen wurden außer den Reserven auch gesicherte (aber z.Zt. nicht abbauwürdige) und vermutete Rohstoffvorkommen gezählt. Die Schätzungen über die Vorräte an verschiedenen Primärenergien. Gehen natürlich - je nach Industrieinteressen - weit auseinander. Die Schätzungen beweisen häufig das, was dem Auftraggeber nützt.

Sekundärenergien

Es ist häufig so, daß Kohle, Erdöl, Gas usw. nicht direkt benutzt werden (etwa zur Verbrennung in einem Ofen), sondern daß diese Stoffe umgewandelt werden, bevor man ihre Energie nutzt. Das Beispiel des Erdöls zeigt das: man kann daraus Heizöl machen, Benzin oder Strom. (Daneben haben Erdöl und Kohle noch als Grundstoffe in der chemischen Industrie eine große Bedeutung: etwa ein Zehntel davon wird in der Bundesrepublik für andere Zwecke als zur Energiegewinnung verwendet.) Die bereits umgewandelten Energieformen heißen Sekundärenergien. Bei der Umwandlung von Primär- in Sekundärenergien treten Verluste auf. Einige dieser Energieverluste sind in der Tabelle angegeben.

Energieverluste bei der Umwandlung:²⁾

von	in	Verlust
Erdöl	Heizöl	10 %
Kohle	Elektrizität	60 %
Erdgas	Elektrizität	57 %
Uran	Elektrizität	68 %

8.3.3 Verteilung, Endenergien, Nutzenergien, Energiedienstleistungen

Die Verteilung der Energie wird zum einen auf den üblichen Transportwegen (Straße, Seeweg) vorgenommen. Gas und Flüssigstoffe transportiert man auch in Rohrleitungen.

Bei allen diesen Prozessen treten wiederum Verluste auf: auch ein Tankwagen braucht Treibstoff, eine Rohrleitung braucht Pumpen und eine Hochspannungsleitung verwandelt einen Teil der durchfließenden elektrischen Energie in Wärme.

Die bereits verteilten Energien heißen *Endenergie*. Diese Endenergien (also etwa das Heizöl im Tank oder das Benzin im Auto) werden dann bei Verbrauchern in *Nutzenergien* verwandelt, also etwa in Wärme durch den Brenner der Ölheizung oder in Bewegungsenergie durch den Automotor.

Aus dieser Nutzenergie wird dann eine *Energiedienstleistung*. Die Energie hat ihren Dienst verrichtet: Im Haus ist es warm, der Fahrer des Autos ist zu seinem Bestimmungsort transportiert worden.

Es ist klar, daß auch während der letzten beiden Schritte Verluste auftreten. Bei der Verwandlung in Nutzenergie ist der Verlust etwa die Wärme, die von der Ölheizung ungenutzt durch den Kamin abzieht. Der Verlust bei der Energiedienstleistung ist die Wärme, die das Haus nach außen verliert, zum Beispiel durch ungenügende Isolierung oder Zugluft.

2) Die hier angegebenen Verluste beziehen sich nur auf die Energieumwandlung selbst. Dazu kommen noch die Verluste, die beim Transport der umgewandelten Energie entstehen: bei Heizöl etwa 10 % bei Elektrizität etwa 5 %. Insgesamt geht in der Bundesrepublik 27 % der Energie verloren, schon bevor sie den Verbraucher erreicht. Sollte die Entwicklung unverändert weitergehen, so muß damit gerechnet werden, daß dieser Verlustanteil auf 32 % im Jahre 2000 steigt.

Energiebedarf

Aus der Entwicklung des Energiebedarfs in der Vergangenheit lassen sich Faktoren ableiten, die den *Energiebedarf* einer Volkswirtschaft maßgeblich bestimmen. Dabei ist von grundlegender Bedeutung, daß nicht Energie an sich gebraucht wird, sondern die mit ihr ermöglichte Dienstleistung. *Energiebezogene Dienstleistungen* sind z.B. die Bereitstellung von temperierten Räumen, Kraft und Wärme für industrielle und landwirtschaftliche Produktionen, Transportmöglichkeiten für Personen und Güter, Möglichkeiten zur Telekommunikation sowie sonstige Möglichkeiten zur Erleichterung der Haushaltsführung (Staubsauger, Waschmaschine usw.). Zu den wichtigsten *Bestimmungsgrößen des Energiebedarfs* zählen vor allem folgende Faktoren:

- Bevölkerungswachstum,
- Wirtschaftswachstum,
- Entwicklung der Energieträgerpreise,
- Energiepolitik und Energiebewußtsein.

Bevölkerungswachstum

Das Bevölkerungswachstum beeinflußt den Energiebedarf in zweierlei Hinsicht: direkt über die privaten Haushalte mit dem damit verbundenen Bedarf für Heizung, Licht, Kochen, Auto usw.; indirekt über die Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen, wodurch der Energieverbrauch auch in anderen Sektoren beeinflußt wird. Neben der Bevölkerungsentwicklung ist das *Bedürfnis nach wachsendem Lebensstandard* ein weiterer wichtiger Indikator des Energiebedarfs im privaten Bereich.

Wirtschaftliches Wachstum

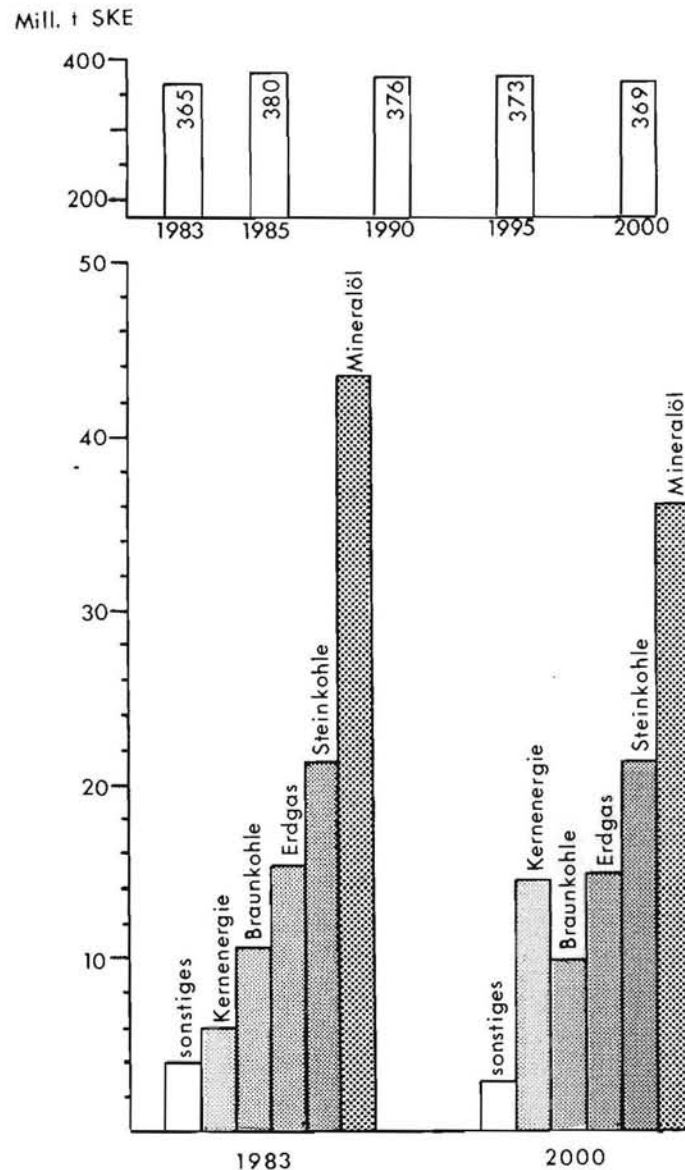
Die Produktion von Gütern und Dienstleistungen ist ein bestimmender Faktor für den Energieverbrauch in den verschiedenen Wirtschaftsbereichen. Darüber hinaus beeinflußt die Wirtschaftsentwicklung das verfügbare Einkommen der Haushalte und die verfügbare Freizeit und damit den Konsum und den Energieverbrauch im privaten Bereich.

Entwicklung der Energieträgerpreise

Der Energiepreisentwicklung, u.a. in bezug auf den Energiepreisführer Rohöl, kommt eine wesentliche Bedeutung bei der Entwicklung des Energiebedarfs zu. Die absolute Höhe des Energiepreisniveaus ist insbesondere maßgebend für die Substitution von Energie durch Kapital, d.h. für Energiesparmaßnahmen oder für die Nutzung hocheffizienter, in der Regel aber teurer Energietechniken. Die Wahl einer Versorgungsalternative wird von den relativen Preisunterschieden zwischen den verschiedenen Energieträgern beeinflußt (z.B. Öl- oder Gasheizung). Die Vergangenheit hat gezeigt, daß die starken Energiepreiserhöhungen von Öl und, hieran angepaßt, der anderen Energieträger vor allem die Industrie und die Haushalte veranlaßt haben, verstärkt Maßnahmen zur rationellen Energienutzung und Energieeinsparung zu ergreifen und stärker auf andere Energienutzung und Energieträger als Öl zurückzugreifen. Hierdurch ist der Energieverbrauch zwischen der Mitte der 1970er und der 1980er Jahre in etwa gleich hoch geblieben, obwohl z.B. die Zahl der beheizten Wohnungen, die Wohnungsgrößen und -ausstattung und die Anzahl der Personenwagen deutlich angestiegen sind.

Energiepolitik und Energiebewußtsein

Einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf die Höhe und Struktur des Energiebedarfs haben auch die staatlichen Eingriffe und Rahmensetzungen. Maßnahmen des Staates reichen in der Bundesrepublik z.B. von der Forschungsförderung von Energieverwendung, über finanzielle Anreize bis hin zu gesetzlichen Vorschriften (z.B. Wärmeschutzverordnung). Zusätzlich haben viele Verbraucher begonnen, ihr Energiebewußtsein zu ändern. Dieses wachsende Energiebewußtsein kann für den zukünftigen Energiebedarf eine wichtige Bestimmungsgröße sein.



Energiebedarf in der BRD in Mill. t. SKE (von 1985 bis 2000 beruhen die Zahlen auf einer Prognoseschätzung bei einem angenommenen Wirtschaftswachstum von 2,5 % pro Jahr) (Nach: Wie funktioniert das? 1989, S. 529)

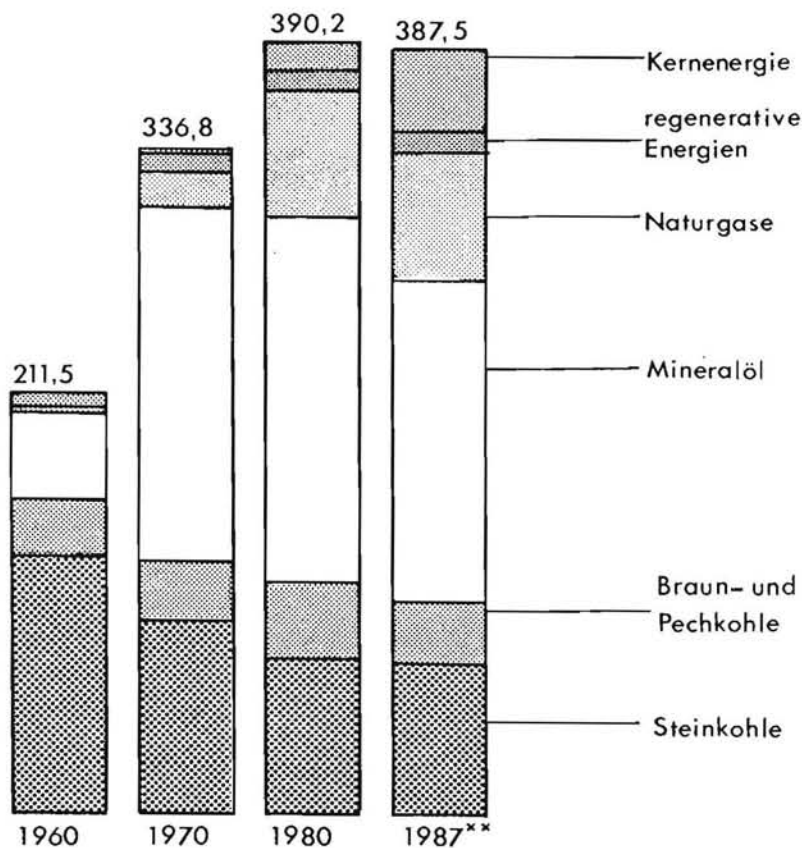
Energieträger und Energieverbrauch

Regional bestehen erhebliche Unterschiede im Pro-Kopf-Energieverbrauch. So haben z.B. die Menschen in Afrika, Asien (ohne Japan), Australien und Lateinamerika (zusammen fast 75 % der Weltbevölkerung) nur einen Anteil von 25 % am gesamten Weltenergieverbrauch, während die westlichen Industrieländer, Japan und Australien mit einem Bevölkerungsanteil von nur 16 % etwa die Hälfte der weltweit verfügbaren Energie verbrauchen.

Die Energiesituation in der Bundesrepublik Deutschland. Ab 1950 stieg der Energieverbrauch sehr stark an: von 136 Mill. t SKE auf heute (1987) 386 Mill. t SKE. Wie in der gesamten Weltenergieversorgung haben die beiden letzten Jahrzehnte auch in der bundesdeutschen Energieversorgung einen deutlichen Strukturwandel gebracht. Während sich Anfang der 1960er Jahre die Deckung des Energiebedarfs auf die festen Energieträger stützte, sind es heute vornehmlich die flüssigen und gasförmigen Energieträger, die den Hauptanteil der Energienachfrage tragen. Auf *Erdöl* und *Erdgas* zusammen entfielen 1987 zusammen rund 59 %. Dieser hohe Prozentsatz macht die Abhängigkeit der deutschen Energieversorgung von diesen beiden Energieträgern, die zum überwiegenden Teil - beim Erdöl zu 95 % - importiert werden müssen, deutlich. Der Anteil von Erdöl an der Versorgung erhöhte sich von 1960 bis 1973 von 21,0 % auf mehr als 55 %. Bis 1987 sank der Erdölanteil allerdings wieder auf 42 %. Der Erdgasanteil stieg in der Zeitspanne zwischen 1960 und 1987 von 0,5 % auf etwa 17 %. Der Anteil der festen Brennstoffe verringerte sich dagegen bei Steinkohle von rund 61 % auf 19 % und bei Braunkohle von knapp 14 % auf rund 8 %. Die Kernenergie, die in der BRD seit 1961 zur Stromerzeugung genutzt wird, erzielte 1986 einen Anteil von etwa 10 %.

Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in der Bundesrepublik Deutschland

in Millionen Tonnen SKE*



* 1 Million Tonnen Steinkohleneinheiten (SKE) = 29,3 Petajoule

** vorläufig

Nach: Wie funktioniert das?, a.a.O., S. 527

Energiesektoren und Energieverbrauch

Der Prozeß der Wirtschaftsentwicklung ist weltweit sehr unterschiedlich verlaufen und hat dazu geführt, daß der Primärenergieverbrauch in Industrieländern sehr viel höher - pro Kopf der Bevölkerung im Mittel jährlich bis zu 28,5 kg Steinkohleneinheiten (SKE) - als in Entwicklungsländern ist, wo in einigen Fällen (z.B. Haiti, Jemen) weniger als 0,5 kg SKE pro Kopf zur Verfügung stehen.

In einem hochindustrialisierten Land wie der BRD wird Energie heute für drei Energiedienstleistungsbereiche eingesetzt, nämlich zur Erzeugung von:

1. *Räumwärme* zum Heizen bzw. Klimatisieren (1985 35,9 % des Endenergiebedarfs);
2. *Prozeßwärme*, die als Produktionswärme in Industrie und Gewerbe gebraucht wird und mit der in den Haushalten gekocht und Heißwasser bereitet wird (28,5 %);
3. *Licht und Energie für mechanische und nachrichtentechnische Zwecke* (35,6 %).

Aus dem *Energieflußbild* der BRD können die *Primärenergiestruktur* und die sich aus der Energieleistung ergebenden Anteile der Wirtschaftssektoren an der *Endenergie* entnommen werden:

Private Haushalte verbrauchten 1985 rund 29 % des gesamten Endenergiebedarfs von 252,1 Mill. t SKE, also rund 73,1 Mill. t. SKE. Aus nutzungsorientierter Sicht entfielen davon auf Raumheizung 80 % und auf Prozeßwärme 14 %. Für Licht, Radio und Fernsehen sowie für Antriebe wurden dagegen nur 6 % eingesetzt. Die Anteile der Endenergieträger betragen dabei: Heizöl 46 %, Gase 26,3 %, Strom 16,4 %, feste Brennstoffe 7,7 %, Fernwärme 3,6 %.

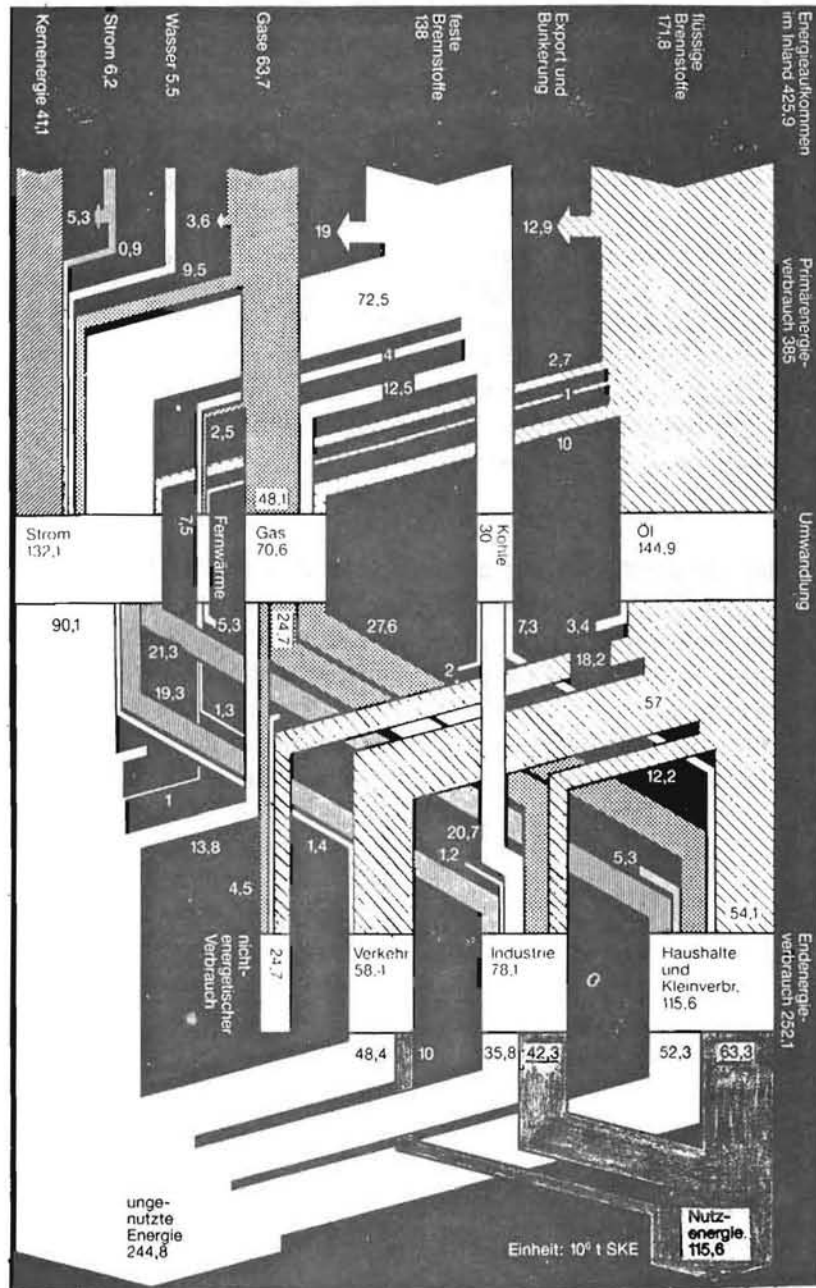
Kleinverbraucher (Schulen, Krankenhäuser, Handel, Gewerbe, Selbständige, Landwirtschaft) benötigten rund 17 % des Endenergieverbrauchs, also 42,6 Mill. t SKE. Für Wärmezwecke wurden hier 76 % eingesetzt (53 % Raumheizung, 23 % Prozeßwärme), während auf Licht und Kraft 24 % entfielen. An Endenergieträgern wurden eingesetzt: Mineralölprodukte 47,6 %, Strom 22 %, Gase 20 %, Fernwärme 6,4 %, feste Brennstoffe 4 %.

Die *Industrie* mit einem Anteil von 31 % am Endenergieverbrauch (78 Mill. t. SKE) wendete davon 71,5 % für die Erzeugung von Prozeßwärme auf, die zur Durchführung und Aufrechterhaltung chemischer Reaktionen und zur Verarbeitung von Stoffen diente. Raumheizung, Licht und Antriebsenergiebedarf machten rund 28,5 % aus. Folgende Energieträger wurden dafür eingesetzt: Gase 31,5 %, feste Brennstoffe 26,5 %, Mineralölprodukte 15,6 %, Strom 24,8 %, Fernwärme 1,6 %. Hauptverbraucher sind die Grundstoff- und Produktionsgüterbereiche (chemische Industrie, Eisen- und Stahlindustrie, Industrie der Steine und Erden, Papierindustrie).

Der *Verkehr* verbrauchte etwa 85 % seines 58,4 Mill. t SKE betragenden 23%igen Anteils am gesamten Endenergiebedarf für Fahrleistungen des privaten Pkw-Verkehrs und des Lkw-Gütertransports; öffentliche Verkehrseinrichtungen (Bahnen, Busse), der Luftverkehr und die Binnenschifffahrt benötigten nur 15 %. Flüssige Treibstoffe deckten mit 97,5 % den Bedarf dieses Sektors fast allein ab.

Der *nichtenergetische Verbrauch*, d.h. der Primärenergieeinsatz zur Erzeugung von Produkten, die keine neue Energie darstellen (z.B. Kunststoffe, Düngemittel, Chemiefasern, Medikamente, Wärmedämmstoffe oder Farben), betrug 6,4 % des gesamten Primärenergieeinsatzes, also 24,7 Mill. t SKE. Zu 90 % wurden dazu Erdölprodukte eingesetzt.

Energieflußdiagramm der Bundesrepublik Deutschland 1985



Nach: Wie funktioniert das?, a.a.O. S. 477.

8.3.4 Bessere Energienutzung

o Kochen mit Gas oder Strom?³⁾

Von den Energieversorgungsunternehmen wird mit großem Werbeaufwand immer wieder versucht, das Image von Strom als preiswerte, umweltfreundliche und energiesparende Energiequelle aufzuwerten. Diese Werbeargumente stellen jedoch eine grobe Irreführung der Verbraucher dar.

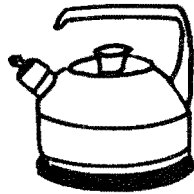
Bei einem Vergleich des Energieverbrauchs zur Zubereitung von kochendem Wasser zeigt sich, wie wenig effektiv Kochen mit Strom ist. Der *Endenergieverbrauch der Kochplatte* (Leistung 1,5 kW) liegt zwar mit 147 Wh nur *um rund 20 % höher als bei einem Gasherd*, jedoch muß man berücksichtigen, daß *zur Herstellung von 1 kWh Strom (Endenergie) rund 3 kWh Primärenergie* (Kohle, Gas, Atomenergie) *notwendig sind*. Der Primärenergieeinsatz liegt somit beim elektrischen Kochen bei etwa 440 Wh, während ein Gasherd dieselbe Energiedienstleistung mit einem Primärenergieeinsatz von 128 Wh ermöglicht. Darüber hinaus ist für die Umwandlung der Primärenergie in Strom ein großer Aufwand an Kapital notwendig, der sich nicht zuletzt auch in den höheren Strompreisen widerspiegelt. "Wasser mit Strom zu erhitzen, ist wie Butter mit der Kreissäge zu schneiden".

Betrachtet man die *Umweltbelastung* durch die beiden Kochsysteme, schneidet das Kochen mit Strom noch weit schlechter ab. Durch das Kochen mit Strom wird die Umwelt weit höher mit Schwefeldioxyden und Stickoxyden belastet als beim Kochen auf dem Gasherd. Zudem müssen die sonstigen Umweltbelastungen der Stromerzeugung wie z.B. die Gewässerbeanspruchung, die Folgewirkungen des Braunkohletagebaus, der Flächenbedarf für die Stromerzeugung sowie vor allem für die Hochspannungsfreileitungen und die Umweltbelastung durch radioaktiven Müll berücksichtigt werden.

3) Nach: Seifried, a.a.O., S. 44f.

Kochen mit Gas statt Strom⁴⁾

Kochen von $\frac{1}{2}$ l
Wasser mit



STROM

erfordert einen
Energieeinsatz von

Strom 147 Wh

Primärenergie 441 Wh

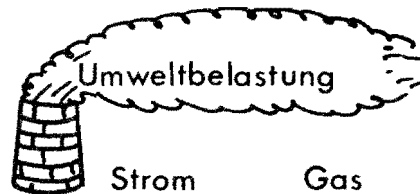


GAS

Gas 120 Wh

Primärenergie 128 Wh

daraus
erfolgt
an



	Strom	:	Gas
Kohlendioxid	4	:	1
Stickoxide	27	:	1
Schwefeldioxid	1700	:	1

4) Nach: Seifried, a.a.O., S. 44.

o Der Stromverbrauch in unserem Haushalt

Der Bau von Kraftwerken, die Erstellung des Leitungsnetzes, der Betrieb der Kraftwerke zur Stromerzeugung und die Arbeitskraft vieler Menschen kosten natürlich Geld. Deshalb erhält der Stromkunde eine Rechnung vom Elektrizitätswerk, mit der die Vorleistungen und der genutzte Strom bezahlt werden. Um zu messen, wieviel Arbeit pro Stunde der elektrische Strom für uns leistet, gibt es in jedem Haus einen Stromzähler. Gemessen wird mit der Einheit kWh, das heißt Kilowattstunde. Beobachtet eine Zeit lang euren Stromzähler. Immer wenn Strom im Haus genutzt wird, dreht sich die Scheibe mit der roten Markierung. Wie verhält sich das Zählerrad, wenn wenig Elektrogeräte im Haushalt angeschaltet sind? Und wie verhält es sich, wenn viele Elektrogeräte angeschaltet sind?

Lest eine Woche lang täglich, etwa um die gleiche Zeit, den Zählerstand ab und tragt die Zahl in die 1. Spalte der Tabelle ein. Tragt in die 2. Spalte den täglichen Stromverbrauch ein.

Um den Verbrauch des 1. Tages zu berechnen, muß man die Zahl des 1. Tages von der des 2. Tages abziehen. Um den Verbrauch des 2. Tages zu berechnen, muß man die Zahl des 2. Tages von der des 3. Tages abziehen, usw.

	Zählerstand	Verbrauch pro Tag
1. Tag		
2. Tag		
3. Tag		
4. Tag		
5. Tag		
6. Tag		
7. Tag		
8. Tag		
Der Stromverbrauch von allen Tagen		

Wieviel Kilowattstunden wurden in einer Woche verbraucht? Dazu müßt ihr die Zahlen der letzten Spalte addieren. An welchem Tag war der höchste Stromverbrauch? Habt ihr dafür eine Erklärung?

o Hohes Stromeinsparungspotential bei Haushaltsgeräten: Beispiel Waschmaschine⁵⁾

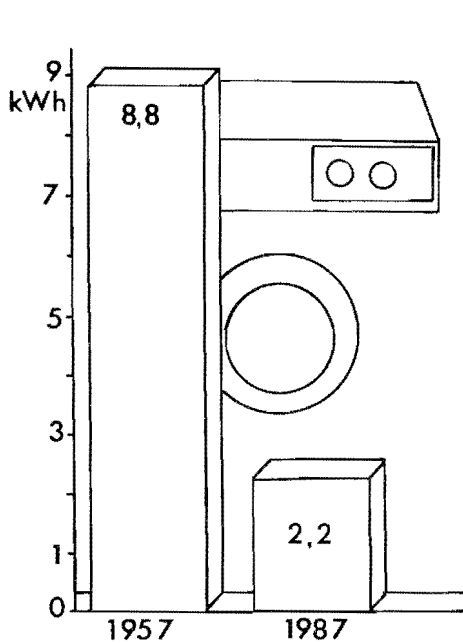
Der energietechnische Stand von Haushaltsgeräten hat sich mit der laufenden Umsetzung des technischen Fortschritts ständig verbessert. Bezogen auf gleiche Energiedienstleistung beim Waschen, Spülen, Kühlen, Beleuchten und anderen Anwendungen elektrischer Energie, konnten bei Neugeräten in den zurückliegenden Jahren erhebliche Verbrauchsminderungen erzielt werden. Für 4 kg Kochwäsche wurden 1957 noch durchschnittlich 8,8 kWh benötigt, dieser Wert sank bis 1987 auf 2,2 kWh. Der Übergang von der Bottich- zur Trommelwaschmaschine, verbesserte Temperatursteuerung und optimale Gestaltung der Waschprogramme führten zu einem erheblichen Verbrauchsrückgang. Dieser technische Entwicklungsprozeß ist noch nicht abgeschlossen und läßt noch weitere Verbesserungen zu. Innerhalb der nächsten zehn Jahre sind spezifische Verbrauchswerte von 1,5 kWh für einen Waschgang (4 kg Kochwäsche) durchaus realisierbar.

Geräte- und Programmwahl, Betriebsweise, Dauer und Häufigkeit des Geräteeinsatzes werden durch die Verbraucher festgelegt. Sie bestimmen damit maßgeblich den Jahresstromverbrauch von Hausgeräten. Zwar hat sich binnen 30 Jahren die Wäschemenge je Haushalt mehr als verdoppelt, der mittlere Jahresstromverbrauch einer Waschmaschine ging jedoch spürbar zurück. Die Gründe liegen beim Einsatz der verschiedenen Waschprogramme, die weitgehend durch die Wäscheart bestimmt werden, die sich im Laufe der Zeit in typischer Weise verändert hat. So hat die Fein-, Bügelfrei- und Buntwäsche ständig an Bedeutung gewonnen, während der Anteil der energieintensiven Kochwäsche mehr und mehr abnahm. Hinzu kommt, daß dank intensiver Verbraucherberatung die Geräteauslastung deutlich verbessert wurde und insbesondere bei der Feinwäsche relativ hohe Beladungen erzielt werden.

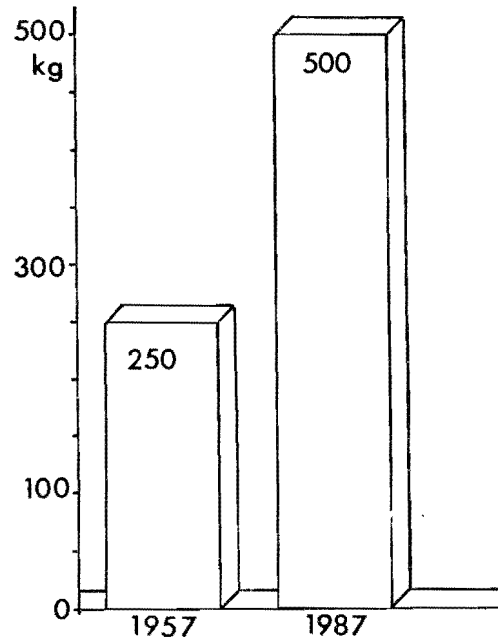
Deutlich ist der sich nach Verlauf und Niveau seit Mitte der 80er Jahre abzeichnende Trend zur Verbrauchssättigung in den alten Bundesländern, der bei normaler demographischer Entwicklung etwa Ende der 80er Jahre erreicht worden wäre. Seit Anfang der 90er Jahre zeichnet sich eine Entwicklung ab, die bis zum Jahr 2000 zur Stagnation führt bzw. einen leichten Verbrauchsrückgang einleitet. Damit zeigt sich, daß ein sich stabilisierender Gerätebestand bei ständig verbesserter Gerätetechnik trotz noch steigender Inanspruchnahme der Geräte mittel- und insbesondere längerfristig einen Rückgang des Stromverbrauchs bewirken wird. Dieser Übergang wird um so schneller vollzogen, je schneller Alt- durch Neugeräte ersetzt werden. Die aufgezeichnete Entwicklungslinie setzt dabei voraus, daß keine neuen, zusätzlichen Techniken der Stromanwendung zum Einsatz kommen und daß verbrauchsmindernde Effekte nicht durch Zuwanderungen und damit verbundenen Mehrverbrauch kompensiert werden.

5) Nach: Siemens AG (Hg.) 1992, S. 12.

Energieverbrauch der Waschmaschine für 4 kg Kochwäsche

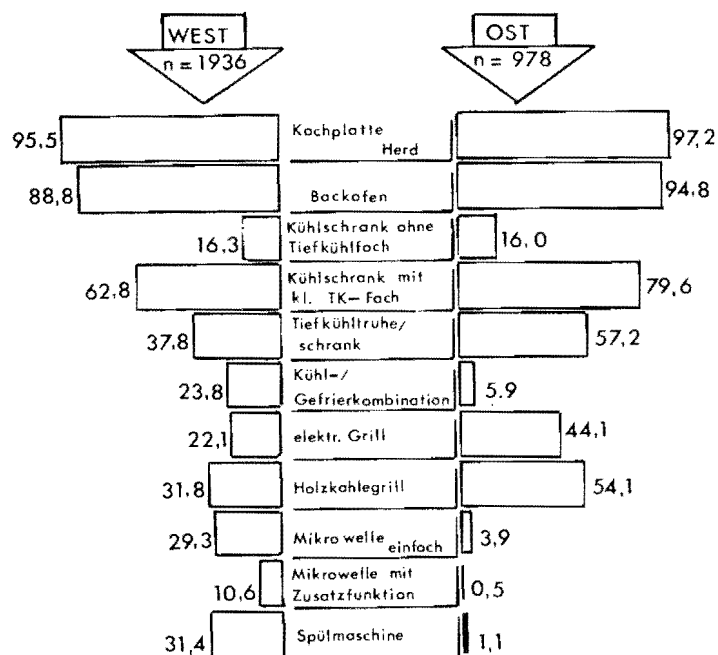


Jährliche Wäschemenge je Haushalt



Während der spezifische Stromverbrauch für einen Kochwaschgang innerhalb von 30 Jahren erheblich sank, stieg trotz abnehmender Personenzahl je Haushalt, die Wäschemenge erheblich. Damit wurde ein Großteil der Energieeinsparung wieder kompensiert.

Geräteausstattung des Haushalts





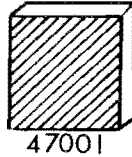
DIE ELEKTROINDUSTRIE wirbt gerne damit, daß ihre Haushaltsgeräte immer weniger Strom verbrauchen. Das ist zwar richtig, doch bedeutet dies noch nicht einen absolut zurückgehenden Elektrizitätskonsum. Die steigende Zahl der Haushalte und deren zunehmende Ausstattung mit Geräten sorgen für einen gegenläufigen Effekt. Einen erheblich größeren Einfluß haben die konjunkturelle Entwicklung und damit zusammenhängend der Bedarf der Industrie. Nicht zu unterschätzen ist auch das Wetter.

Aus: Frankfurter Rundschau vom 22.01.1993, S. 14.

o Tips zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs⁶⁾

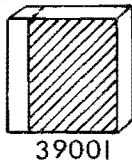
Beispiel: Normalhaus 128 m² Wohnfläche
(Ölverbrauch/Jahr)

Ausgangslage



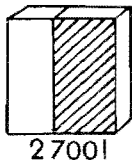
(ohne Wärmedämmung)

1. Schritt



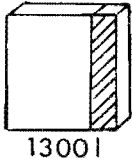
Thermostatventile
Wärmedämmung der Heizkörpernischen und der Rollläden

2. Schritt

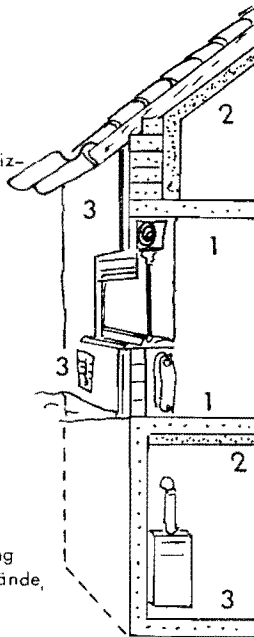


Dämmung der Dachschräge und der Kellerdecke

3. Schritt



Außentemperaturregelung
Dämmung der Außenwände, kleiner Kessel bei fölliger Erneuerung



Als Beispiel wird die schrittweise Verbesserung des Wärmeschutzes an einem typischen Einfamilienhaus gezeigt. Das Musterhaus wurde in den 60er Jahren gebaut, bietet 128 Quadratmeter Wohnfläche und verbraucht, wenn alle Räume beheizt werden und die Raumtemperatur am Tage 21 Grad Celsius und in der Nacht 15 Grad Celcius beträgt, 4740 Liter Heizöl im Jahr.

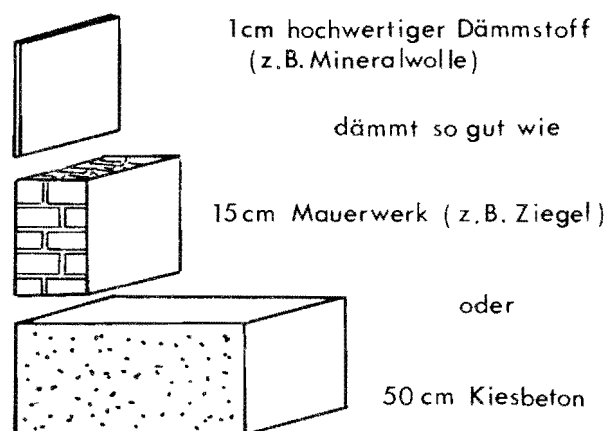
1. Schritt: Zur Verringerung der Wärmeverluste empfehlen sich zunächst *Sofortmaßnahmen*:
- Die Vorlauftemperatur der Heizung wird in den Nachtstunden abgesenkt, und die vorhandenen Rollläden und Vorhänge werden geschlossen.
 - An den Heizkörpern werden Termostatventile angebracht, und die Heizkörpernischen werden mit 3 cm dicken Hartschaumplatten gedämmt, auf die eine Aluminiumfolie aufgeklebt wird.
 - Die Rolllädenkästen werden mit Styroportapete ausgekleidet. Durch diese Maßnahmen sinkt der Heizölverbrauch um 20 % oder auf 3840 Liter pro Jahr.

6) Nach: Seifried, a.a.O., S. 76f.

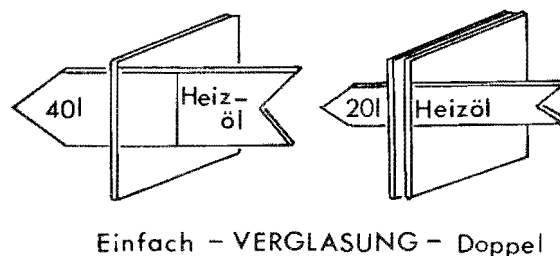
2. Schritt: Durch *weitere Maßnahmen* kann der Heizölverbrauch auf 2690 l pro Jahr gesenkt werden:
- Die oberste Geschoßdecke wird mit 12 cm starken Steinwollmatten isoliert.
 - Die Kellerdecke wird mit 6 cm dicken Polyurethan-Hartschaumplatten beklebt und die Dachschräge mit 10 cm starkem Mineralfaserfilz isoliert.
3. Schritt: Der größte Teil der noch verbleibenden Wärmeverluste entfällt auf die Außenwände des Hauses. Während jedoch das Maßnahmenbündel eins und zwei sofort durchgeführt werden kann, ist es bei einer Wärmedämmung der Außenwände zweckmäßig, diese erst dann vorzunehmen, wenn die Renovierung der Außenfassade ohnehin fällig wird. Dadurch kann die Wärmedämmung erheblich kostengünstiger erfolgen. Für den nun erreichten Wärmeschutz ist jedoch der vorhandene Heizkessel völlig überdimensioniert. Er wird nach Ablauf seiner Lebenszeit (etwa 15 Jahre) durch einen kleineren Kessel und Brenner ersetzt, der zudem die Vorlauftemperatur der Heizung entsprechend der Außentemperatur steuert.

Nachdem alle Maßnahmen durchgeführt sind, braucht das Gebäude nur noch 1280 Liter Heizöl pro Jahr. Die insgesamt angefallenen Investitionskosten belaufen sich auf 16240 DM (Stand 1985).

o Wärmeschutz durch Baustoffe⁷⁾



Jährlicher Wärmeverlust pro m² Fensterfläche



7) Nach: Seifried, a.a.O., S. 74f.

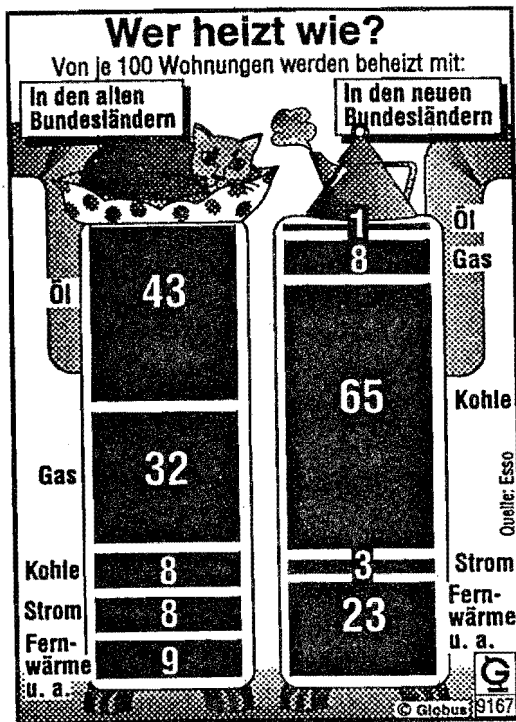
Die Wärmedämmwirkung verschiedener Baustoffe ist extrem unterschiedlich. Sie ist um so größer, je geringer die Masse und der Feuchtigkeitsgehalt des Baustoffs sind. Die Unterschiede sind in der Abbildung veranschaulicht: *Die Baustoffe haben in der gezeigten Dicke (1:15:50) die gleiche Wärmedämmwirkung.* Um also mit Beton die gleiche wärmeisolierende Wirkung zu erzielen wie mit einer 1 cm dicken Styroporschicht müßte die Betonwand 50 cm dick sein. Niemand würde wohl auf die Idee kommen, mit Beton zu isolieren. Jedoch ist es ein weitverbreiteter Irrglaube, daß die Wärmedämmung der Mauer gut ist, wenn sie nur recht dick ist. Daraus wird dann gefolgert, daß einige cm Dämmstoff auch nicht weiterhelfen.

Ein Maß für die Wärmedämmung ist der Wärmedurchgangskoeffizient, kurz k -Wert genannt. Der k -Wert gibt die Leistung an, gemessen in Watt, die pro m^2 Fläche bei einer Temperaturdifferenz zwischen innen und außen von einem Grad verlorenght. So beträgt z.B. der k -Wert für die Außenwandfläche des auf S. 66 betrachteten Hauses $k = 1,48 \text{ W/m}^2$, was bedeutet, daß etwa bei einer Temperaturdifferenz von 20 Grad pro Stunde und pro m^2 Außenwand 29,6 Wh verlorenght. Da die Wärmeverluste bei Wänden, Böden, Dach und Fenster unterschiedlich sind, wird, um den k -Wert eines Hauses zu bestimmen, aus den verschiedenen k -Werten ein Mittelwert $k(m)$ errechnet. Kann beispielsweise durch eine bessere Wärmedämmung und durch Doppelglasfenster eine Halbierung des $k(m)$ -Wertes erreicht werden, so entspricht dies ungefähr einer Halbierung des Heizenergieverbrauchs.

8.4 Gefahren der Energieversorgung

8.4.1 Gefahren der fossilen Brennstoffe

Überprüfen wir einmal die verschiedenen Energiequellen auf die Gefahren im Normalbetrieb und bei Unfällen. Fangen wir bei den nicht-erneuerbaren Quellen an, und zwar bei den sogenannten "fossilen" Brennstoffen wie Kohle, Gas, Öl.



Stand: September 1991

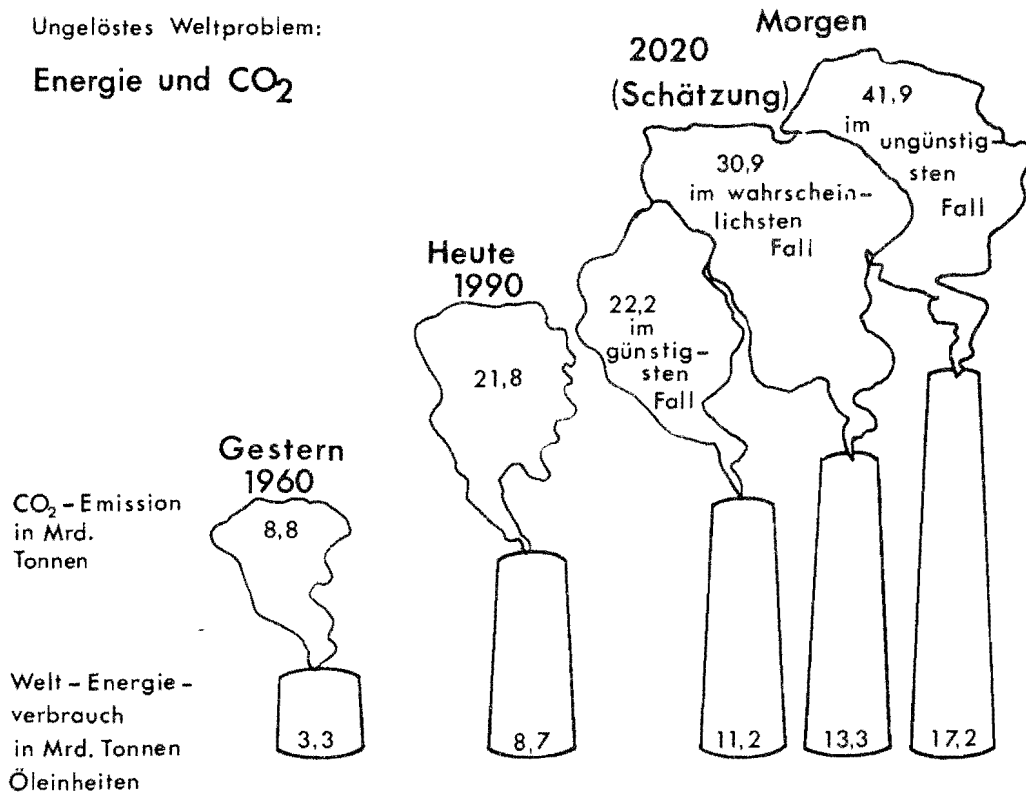
Diese Brennstoffe haben im Normalbetrieb zwei Dinge gemeinsam: sie erzeugen Wärme und Kohlendioxyd, unabhängig davon, wie man sie verbrennt, ob in einem Kraftwerk oder in einem Ofen für die Hausheizung. Beides klingt nicht gefährlich. Will man denn nicht - etwa wie bei der Heizung - Wärme erzeugen?

Nach: Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.) 1992, S. 26

Und Kohlendioxyd, die gute alte Kohlensäure, wenn die so gefährlich wäre, dann wären Sprudel und Bier schon längst verboten. Das ist zwar richtig. Aber leider erzeugt man bei der Verbrennung dieser Brennstoffe beides in solchen Mengen, daß unsere Atmosphäre schädlich verändert wird.

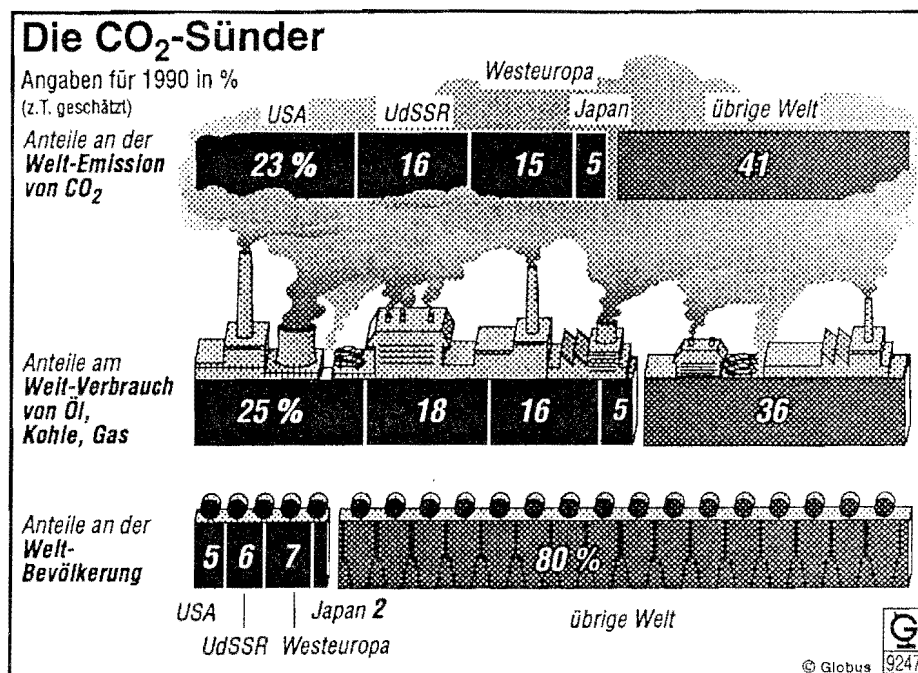
Zunächst die **Wärme**. Viele Kraftwerke leiten ihre Abwärme einfach mit dem Kühlwasser in einen Fluß, sie heizen ihn damit auf. Was passiert dabei? Das natürliche Gleichgewicht des Flusses wird gestört. Bestimmten Tier- und Pflanzenarten (z.B. Forellen) wird's zu warm, sie sterben. Anderen Arten (z.B. Algen) wird's bei der höheren Temperatur erst richtig wohl - sie beginnen sich stark zu vermehren. Das hat wiederum Folgen auch für die Arten, denen die Wassertemperatur eigentlich - "egal" ist, denn ihre Nahrung und ihre Konkurrenz, ihre Gegner wechseln. Das komplizierte Zusammenleben der Arten im Fluß - man spricht von einem *Ökosystem* - wird gestört. Das hat Folgen für die Versorgung der Menschen (Fische, Muscheln) und kann unübersehbare andere Folgen haben.

Ungelöstes Weltproblem:
Energie und CO₂



Nach: Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e.V. (IZE) (Hg.), 1992, S. 2.

Und was ist mit dem Kohlendioxyd? Die industrielle Entwicklung hat zu einem weltweiten Anstieg des Kohlendioxydgehalts in der Atmosphäre geführt. Und zwar liegt er heute um mehr als ein Zehntel höher als 1880.



Nach: Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.), a.a.O., S. 34.

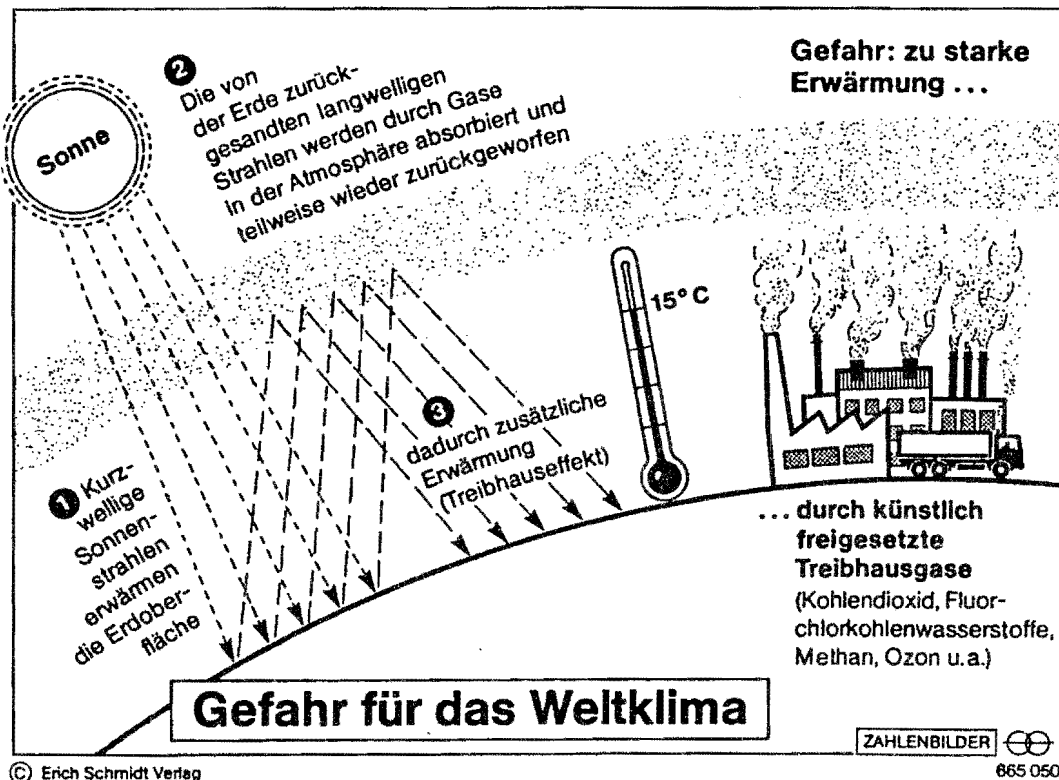
Als natürlicher Bestandteil der Erdatmosphäre trägt CO_2 dazu bei, daß Leben auf unserem Planeten überhaupt möglich ist. Zusammen mit Wasserdampf und anderen Spurengasen sorgt Kohlendioxid dort nämlich dafür, daß nicht die gesamte von der Sonne auf die Erde eingestrahlte Energie wieder in den Weltraum reflektiert wird, sondern daß ein Teil absorbiert wird. Diesem natürlichen Treibhauseffekt haben wir es zu verdanken, daß die Durchschnittstemperatur auf der Erde mit $+15^\circ\text{C}$ um 33°C höher liegt als das sonst der Fall wäre. Für diesen Effekt ist zu über 60 % Wasserdampf, zu 22 % CO_2 und zu 2 % Methan verantwortlich, während die restliche Erwärmung von weiteren klimawirksamen Gasen verursacht wird.

In den vergangenen Jahrhunderten war die Konzentration der Spurengase in der Atmosphäre weitgehend stabil. Mit der Industrialisierung wurde das aber anders: Aus Analysen von Luftbläschen im grönländischen Inlandeis weiß man, daß sich zwischen 1860 und heute der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre um fast 30 % erhöht hat, und zwar von 270 auf 346 Teile pro 1 Mio. Teile (ppm). Während anfangs die Steigerungsrate bei etwa 0,2 ppm pro Jahr lag, beträgt sie heute 1,6 ppm pro Jahr.

Als eindeutige Ursache wird die zunehmende Verbrennung fossiler Energieträger angesehen. Dabei setzt die Menschheit heute innerhalb von nur zwei Jahren soviel CO_2 frei, wie in der Karbonzeit bei der Entstehung der Kohle in einer Million Jahren gespeichert wurde. Der weltweite Primärenergieverbrauch von 12 Mrd. t SKE wird zu rund 90 % mit fossilen Energien bestritten, und die globalen CO_2 -Emissionen hatten 1990 22 Mrd. t überschritten.

Die steigende Konzentration von Kohlendioxid und anderen Spurengasen in der Atmosphäre führt nach Überzeugung der Wissenschaftler zu einer Verstärkung des natürlichen Treibhauseffekts und damit zu einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur der Erde. Während es über diese qualitative Aussage keinerlei Meinungsverschiedenheiten gibt, ist die Quantität, das Ausmaß der Temperaturerhöhung und ihre möglichen Konsequenzen, umstritten. Ein Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um $0,5^\circ\text{C}$ in den vergangenen Jahren sowie der Anstieg des Meeresspiegels um 10 bis 20 cm im selben Zeitraum werden bereits auf die zusätzlichen von Menschen verursachten Treibhausgasen zurückgeführt. Die fortgeschrittensten Klima-Rechenmodelle kommen zu dem Ergebnis, daß es bei einer Verdopplung der vorindustriellen CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre zu einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur um 1,5 bis $4,5^\circ\text{C}$ kommen wird, wobei die obere Grenze als wahrscheinlicher angesehen wird. Wenn Emissionen von Treibhausgasen mit denselben Raten wie zur Zeit bis zum Jahr 2100 zunehmen, wird sich nach gegewärtigem Kenntnisstand die Durchschnittstemperatur um 5°C gegenüber ihrem vorindustriellen Wert erhöhen. Zum Vergleich: Der Temperaturunterschied zwischen der Eiszeit und der jetzigen Warmzeit beträgt 4 bis 5°C .

Die möglichen Folgen des zu erwartenden Temperaturanstiegs werden von den meisten Wissenschaftlern recht drastisch beschrieben: Die Gebirgsgletscher werden abschmelzen (umstritten ist, ob auch ein Abschmelzen der Pole befürchtet werden muß), der Meeresspiegel wird um bis zu 1,5 m ansteigen. Dieser Effekt wird verstärkt dadurch, daß sich Wasser bei Erwärmung ausdehnt. Weltweit werden Küstenregionen überflutet, insbesondere in Asien, wo schützende Deiche weitgehend fehlen. Die Klimagürtel der Erde werden sich verschieben mit schwerwiegenden Folgen für die Landwirtschaft und die Ernährung der Menschheit. In großen Gebieten kann die Wasserversorgung schlechter werden, weil die Verdunstungsrate bei höheren Temperaturen steigt. Die Konsequenzen für politische und soziale Strukturen kann sich jeder selber ausmalen. Andere Modellrechnungen kommen zu weniger dramatischen Ergebnissen, bestätigen aber den Trend.



Nach: Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.), a.a.O., S. 31.

8.4.2 Umwelt und Verkehr

Neben der industriellen Luftbelastung ist der Straßenverkehr eine weitere bedeutende Quelle der Luftverschmutzung geworden.

1991 entstammten in den alten Bundesländern 68 % aller emittierten Stickstoffoxide, 52 % der Kohlenwasserstoffe und 74 % des Kohlenmonoxids dem Verkehr. Ein Boom bei den Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen drohte die Erfolge, die sich die Politik von der Einführung des Dreiwegekatalysators zur Abgasreinigung versprochen hatte, zunichte zu machen. Von 1985 bis 1989 nahm die Fahrleistung auf Autobahnen um 37 % und auf anderen Straßen außerhalb von Ortschaften um 20 % zu. 1990 waren in Deutschland insgesamt knapp 36 Mio. Pkw zugelassen, davon 31 Mio. in den alten und 5 Mio. in den neuen Bundesländern. Die Prognosen für das Jahr 2000 gehen von einem weiteren Anstieg auf 43 bis 46 Mio. Pkw aus.

Schadstoff-Emissionen

Alte Bundesländer - 1000 Tonnen pro Jahr								
	1970	1975	1980	1985	1986	1987	1988	1989
Stickstoffoxide NO _x	2400	2550	3000	2950	3000	2950	2850	2700
Schwefeldioxid SO ₂	3750	3350	3200	2400	2250	1950	1250	1000
Kohlenmonoxid CO	14 500	14 000	12 000	8900	9000	8800	8650	8250
Staub	1300	810	690	580	540	500	490	460
Kohlendioxid CO ₂	753 000	738 000	805 000	738 000	748 000	731 000	721 000	705 000

Neue Bundesländer - 1000 Tonnen pro Jahr							
	1975	1980	1985	1986	1987	1988	1989
Stickstoffoxide NO _x	610	630	670	680	700	700	700
Schwefeldioxid SO ₂	4100	4300	5400	5400	5600	5250	5250
Kohlenmonoxid CO	2950	3500	3700	3750	4000	3850	3750
Staub	2700	2500	2350	2350	2350	2200	2100
Kohlendioxid CO ₂	306 000	321 000	350 000	351 000	356 000	351 000	343 000

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft 1992, S. 45f.

Im Zusammenhang mit dem Straßenverkehr sind drei Gruppen von Umweltgefahren und -belastungen von Bedeutung, die überwiegend mit seinen hauptsächlichen Energiequellen Benzin und Diesel zusammenhängen und sich nicht grundsätzlich von den allen fossilen Energiequellen gemeinsamen Wirkungen unterscheiden:

- Gesundheitsrisiken: verschiedene Stoffe in den Abgasen von Benzin- und Dieselmotoren können beim Menschen zu Krebserkrankungen führen. Das betrifft besonders Benzol und Rußpartikel im Dieselabgas. Ein hoher Anteil der Belastung mit den hochgiftigen Dioxinen und ihren chemischen Verwandten, den Furanen, stammt aus Otto-Motoren, deren bleihaltiges Benzin chlor- und bromhaltige Zusatzstoffe enthält. Außerdem sind hohe Ozonkonzentrationen in Ballungsgebieten auf die hauptsächlich vom Verkehr ausgehenden Vorläuferstoffe Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen zurückzuführen.
- Ökologische Schäden: Die CO₂-Emissionen des Verkehrs tragen erheblich zum Risiko möglicher Klimaveränderungen bei. In gleicher Weise wirken das vom Verkehr ausgehende Ozon sowie Methan und Distickstoffoxid. Durch den Beitrag des Stickstoffoxids zur Entstehung des sauren Regens ist der Verkehr auch mitverantwortlich für Waldschäden und Bodenbelastungen.
- Volkswirtschaftliche Schäden: Luftschadstoffe, für die der Verkehr mitverantwortlich ist, führen zu Ertragseinbußen in der Land- und Forstwirtschaft, über den sauren Regen zu Gebäude- und Materialschäden sowie - nach Feststellung des Umweltbundesamtes - zu Gesundheitskosten in Milliardenhöhe.

8.4.3 Gefahren der Kernenergie⁸⁾

o Sach-/Problemstrukturskizze "Risiko Kernkraft"

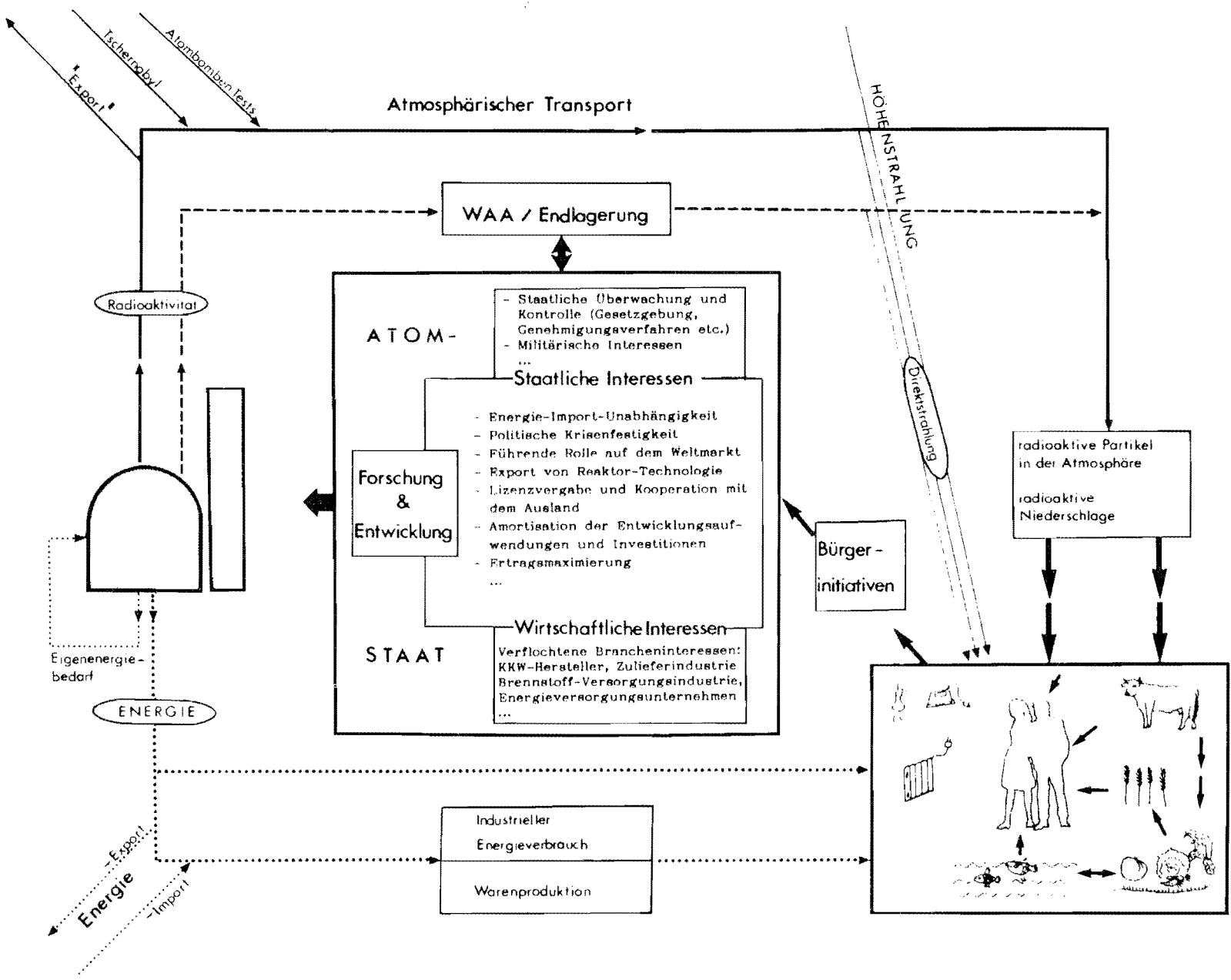
Hinweise zur Sach-/Problemstrukturskizze

Die vielseitigen Verflechtungen der Kernenergie-Problematik mit naturwissenschaftlichen, physiologischen, ökologischen, ökonomischen und politischen Aspekten machen es unmöglich, eine feste Abfolge in der Bearbeitung des Themas vorzugeben. Neben Vorkenntnissen, Jahrgangsstufe und konkreter Zusammensetzung einer Lerngruppe spielen für die Struktur eines Unterrichts über Risiko Kernkraft sicher auch aktuelle Ereignisse eine bedeutende Rolle. Die Sach-/Problemstrukturskizze kann dazu allenfalls als grobes Raster verstanden und benutzt werden, welches einige wichtige Zusammenhänge aufzeigt und Verbindungen erkennen läßt. Je nach den Rahmenbedingungen des Unterrichts kann es auch als Hilfsmittel dienen, relevante Teilthemen auszuwählen, ohne den Gesamtzusammenhang aus dem Blick zu verlieren.

Es empfiehlt sich, eine ähnliche Skizze zusammen mit den Schülerinnen und Schülern zu entwickeln, die dann als gemeinsamer Leitfaden für die weitere Arbeit dienen kann. Besonders, wenn die Schülerinnen und Schüler in größerem Umfang eigenständig allgemein zugängliche Informationen auswerten und - in Form von Referaten etwa - in den Unterricht einbringen, ist es wichtig, die Zuordnung zur Gesamthematik stets vor Augen zu haben.

8) Die Sach-/Problemstrukturskizze und Teile der Materialien dieses Abschnittes sind entnommen: A. Kremer, L. Stäudel 1989, 2. Auflage. Wer sich im Zusammenhang mit "Energie und Umwelt" schwerpunktmäßig dem auch weiterhin aktuellen Thema "Risiko Kernkraft" befassen will, findet ausführliche Materialien zu den in der Skizze dargestellten Sach- und Problembereichen in der o.a. Materialsammlung.

o Sach-/Problemstrukturkizze "Risiko Kernkraft"



o Kernspaltung

Wie in konventionellen Wärmekraftwerken wird auch in Kernkraftwerken Wasser erhitzt und der entstehende Dampf auf eine Turbine geleitet, die einen Generator antreibt.

Der Unterschied zwischen konventionellen Kraftwerken und Kernkraftwerken besteht darin, daß zur Wärmeerzeugung nicht fossile Brennstoffe (wie Kohle, Erdas oder Erdöl) verbrannt werden, sondern es werden Atomkerne der Elemente Uran oder Plutonium gespalten - unter Freisetzung sehr großer Energiemengen.

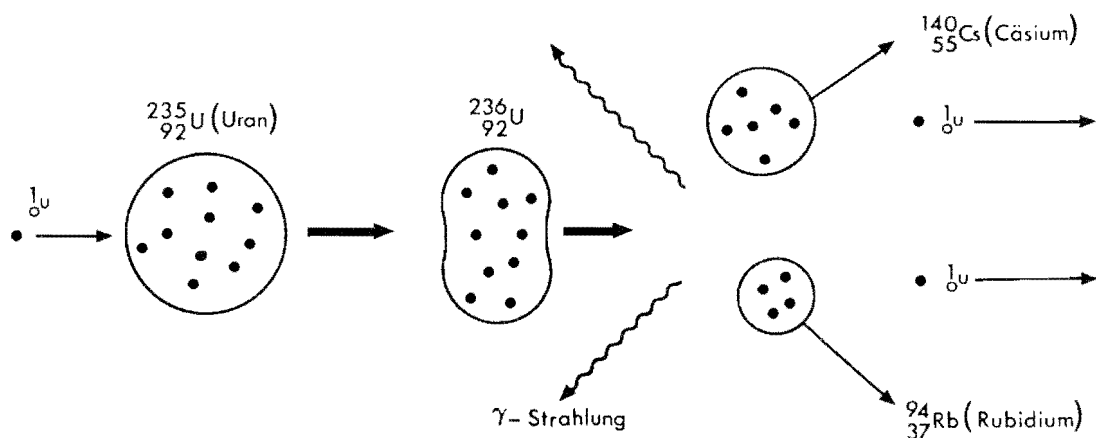
Uran kommt in der Natur in Erzlageren vor, **Plutonium** ist dagegen ein künstliches Element. In den heute betriebenen Kernkraftwerken wird fast ausschließlich Uran als Spaltstoff benutzt. Deshalb sollen die Vorgänge bei der Kernspaltung im folgenden am Beispiel des Uran-235 dargestellt werden.

Atome bestehen aus einem positiv geladenen Kern, der von negativ geladenen Elektronen umgeben ist. Der Kern ist aus positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen zusammengesetzt. Für jedes Element ist die Zahl der Protonen (bzw. der Elektronen) charakteristisch; die Anzahl der Neutronen im Kern kann aber variieren. Man spricht dann von verschiedenen Isotopen eines Elements.

Das in der Natur vorkommende Uran besteht zu 0,7 % aus dem spaltbaren Isotop ^{235}U , der Rest ist nicht spaltbares ^{238}U . (Die voran- und hochgestellt Zahl gibt die Summe der Neutronen und Protonen im Atomkern an).

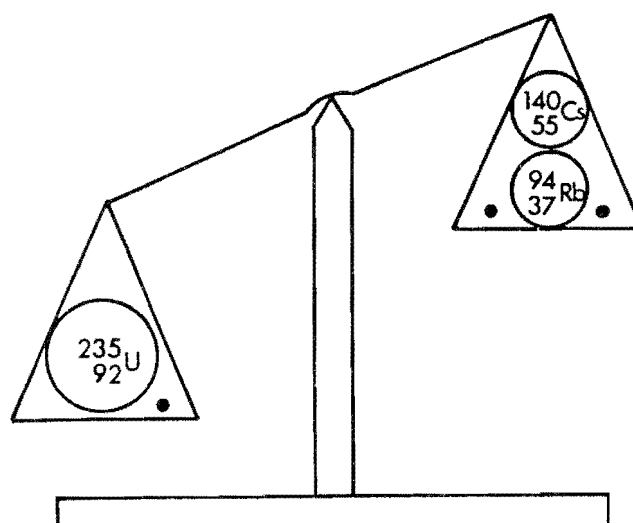
Wenn ein ^{235}U -Kern von einem Neutron getroffen wird, zerfällt es sofort in zwei Bruchstücke (z.B. Cäsium und Rubidium) und zwei oder drei Neutronen. Die Bruchstücke sind nicht immer identisch, das eine hat aber immer eine Kernmassenzahl zwischen 90 und 100, das andere eine Kernmassenzahl zwischen 130 und 140.

Schema der Kernspaltung



Die Zahl links oben vor der Elementbezeichnung gibt die Anzahl der Nukleonen im Kern an, die Zahl links unten die Anzahl der Protonen. Die Differenz beider Zahlen ergibt die Anzahl der Neutronen im Kern.

Massenbilanz



Ein Vergleich der Gesamtmasse der beteiligten Teilchen vor und nach der Spaltung ergibt, daß die Masse nach der Spaltung geringer geworden ist.

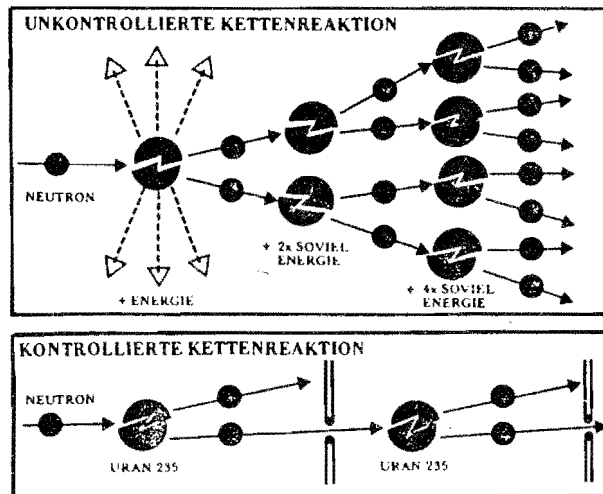
Die nach dem Spaltvorgang fehlende Masse tritt zum größten Teil als Bewegungsenergie der Spaltprodukte sowie der beim Spaltvorgang herausgeschleuderten Neutronen in Erscheinung.

Diese Neutronen können dann weitere Spaltprozesse auslösen. Bei positiver Neutronenbilanz (nach der Spaltung mehr Neutronen als vorher) und im Fall, daß mehr als ein Neutron eine weitere Kernspaltung auslöst, kommt es zu einem lawinenartigen Anwachsen der Reaktion: man erhält eine unkontrollierte Kettenreaktion wie in einer Atombombe.

In Kernkraftwerken muß man dafür sorgen, daß immer nur genau ein Neutron zu einer Kernspaltung führt, so daß die Zahl der Spaltvorgänge konstant bleibt. Dies geschieht mit Hilfe der Steuerstäbe, die aus einem Material bestehen, das Neutronen abbremst und/oder absorbiert. Diese Steuerstäbe können beliebig in den Reaktor-Kern eingefahren werden.

Eine große Anzahl von Neutronen verläßt zudem, aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit, den Reaktorkern nach außen, ohne einen ^{235}U -Kern zu treffen.

Durch die ständig stattfindenden Kettenreaktionen erhitzt sich der Spaltstoff; die entstehende Wärme wird auf das Kühlmittel (Wasser, Gas, flüssiges Natrium) übertragen und zur Dampferzeugung benutzt.



Zusätzlich zu der Bewegungsenergie der Spaltprodukte und der herausgeschleuderten Neutronen wird beim Spaltvorgang auch Strahlungsenergie freigesetzt.

Die insgesamt bei der Spaltung von einem kg reinen ^{235}U freiwerdende Energiemenge beträgt $2,36 \cdot 10^7$ kWh. Davon kann allerdings nur ein Bruchteil in elektrische Energie umgewandelt werden (abgesehen von den Energieaufwendungen für Uran-Förderung und Anreicherung, Betrieb des Kernkraftwerks, Entsorgung etc.) Die Turbinen-Generatoren besitzen im günstigsten Fall einen Wirkungsgrad von ca. 40 %.

o Radioaktive Strahlung

Bei der Spaltung von Uran in Kernkraftwerken entstehen mehr als 400 radioaktive Spaltprodukte. Diese radioaktiven Substanzen (- es gibt auch in der Natur eine große Zahl von instabilen Atomen -) können nicht vernichtet werden. Sie wandeln sich spontan in eine Atomart eines anderen chemischen Elements um. Dieser Vorgang heißt **radioaktiver Zerfall**.

Die bei einem Zerfall entstehenden Spaltprodukte können selbst wieder radioaktiv sein (und weiter zerfallen).

Die beim radioaktiven Zerfall emittierte radioaktive Strahlung kann aus drei Komponenten bestehen:

Alpha-Strahlen: sind materielle Teilchen, die aus 2 Neutronen und 2 Protonen bestehen (Heliumkerne). Die Masse der Alpha-Teilchen ist ca. 8000 mal größer, als die Masse der Beta-Teilchen. Beim Zusammenstoß mit Atomen und Molekülen geben sie ihre Bewegungsenergie sehr schnell ab. In Luft kommen sie (aufgrund ihrer relativen Größe) nach wenigen Millimetern, in Körpergewebe nach wenigen Zehntel Millimetern zum Stillstand. Alpha-strahlende Stoffe sind dann besonders gefährlich, wenn sie mit Nahrung, Luft oder Wasser in den Körper aufgenommen werden.

Kommt ein Alpha-Teilchen, nachdem es seine Energie bei Zusammenstößen abgegeben hat, zur Ruhe, so "fängt" es zwei der überall vorhandenen Elektronen ein. Das dabei entstehende Heliumatom ist ungefährlich.

Beta-Strahlen: sind ebenfalls materielle Teilchen, und zwar elektrisch negativ geladene Elektronen mit sehr hoher Geschwindigkeit. Wie Alpha-Teilchen geben Beta-Teilchen ihre Energie bei Stößen ab. Infolge ihrer relativ geringen Masse durchdringen sie Materie viel weiter als Alpha-Teilchen, nämlich einige Zentimeter (in Gewebe) bis einige Meter (in Luft).

Die Gefährlichkeit der Beta-Strahlen resultiert aus ihrer Fähigkeit, auf den Körper sowohl von außen wie auch von innen einwirken zu können. Ein Beta-Teilchen, das seine Energie abgegeben hat, unterscheidet sich durch nichts von anderen Elektronen, d.h. es ist dann ungefährlich.

Gamma-Strahlung: ist eine materielose Strahlung. In der Physik spricht man von elektromagnetischen Wellen (wie Licht- oder Radiowellen) mit sehr hoher Energie. Gamma-Strahlen dringen tief in die Materie ein und können nur durch dicke Bleischichten oder meterstarke Betonwände abgeschirmt werden. Im Unterschied zu Alpha- und Betastrahlen, die ihre (Bewegungs-)Energie bei Stößen allmählich abgeben können und auf ihrem Weg mehr und mehr abgebremst werden, wird die Energie eines Gamma-Quants als Ganzes abgegeben. Eine Abschirmung verringert bildlich die Dichte einer Gammastrahlung; die Qualität der Strahlung bleibt bis zum Ende dieselbe. Mit anderen Worten: Harte (d.h. energiereiche) Gammastrahlung, die teilweise eine Betonschicht durchdringt, ist immer noch harte Gammastrahlung.

Zur Natur des radioaktiven Zerfalls

Bei einem einzelnen radioaktiven Atomkern ist es prinzipiell nicht möglich vorherzusagen, wann dieser zerfällt. Lediglich bei einer sehr großen Anzahl von radioaktiven Kernen kann man genau angeben, welcher Anteil innerhalb eines bestimmten Zeitraumes zerfallen wird. Diese Tatsache wird anschaulich durch die **Halbwertszeit** beschrieben.

Die Halbwertszeit ist die Zeit, nach der die Hälfte einer vorhandenen Masse eines radioaktiven Elementes zerfallen ist.

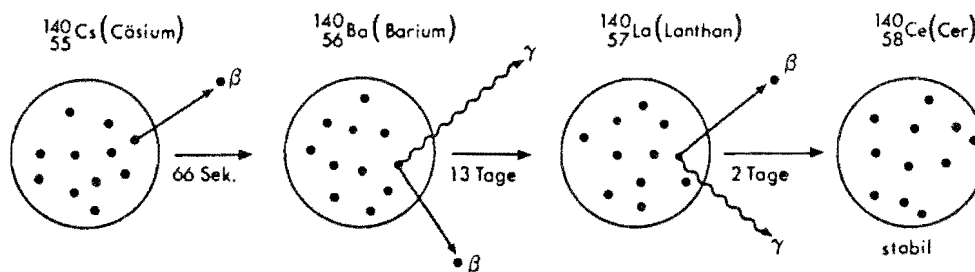
Mit anderen Worten: Nach *einer* Halbwertszeit ist die *Halfte*, nach *zwei* Halbwertszeiten ein *Viertel*, nach *drei* Halbwertszeiten ein *Achtel* usw. der ursprünglichen Masse eines radioaktiven Elements noch vorhanden.

In dem Maße, wie sich die Masse des vorhandenen radioaktiven Elements verringert, verringert sich auch die ausgesandte Strahlung.

Die Halbwertszeiten verschiedener radioaktiven Elemente sind sehr unterschiedlich

Symbol	Element	Halbwertszeit
H	Tritium (radioaktiver Wasserstoff)	12,30 Jahre
C	radioaktiver Kohlenstoff	5736,00 Jahre
Kr	Krypton-85	10,76 Jahre
Sr	Strontium-89	50,50 Tage
Sr	Strontium-90	28,50 Jahre
Ru	Ruthenium-106	368,00 Tage
J	Jod-129	15.700.000,00 Jahre
J	Jod-131	8,04 Tage
Cs	Cäsium-137	30,10 Jahre
Pu	Plutonium	24.390,00 Jahre

Beispiel: Radioaktiver Zerfall von Cäsium:



Wie die obige Abbildung zeigt, kann der radioaktive Zerfall über mehrere Stufen führen. Je nach Art der Zerfallsreihe wird bei jedem Schritt radioaktive Strahlung emittiert und kann zu Schädigungen führen.

Für andere Isotope kann die Zerfallskette anhand einer Isotopentafel nachvollzogen werden (vgl. dazu einschlägige Physik-Lehrbücher).

o Wirkung radioaktiver Strahlung auf Lebewesen

Die Frage nach der Wirkung radioaktiver Strahlung auf Lebewesen ist schwer zu beantworten, und zwar deshalb, weil hierzu lediglich Untersuchungen aus "Labor-Experimenten" vorliegen. Untersuchungen bei "Real-Experimenten", z.B. nach Atombombentests, welche heute noch durchgeführt werden, unterliegen ebenso der (militärischen) Geheimhaltung, wie die von den Amerikanern unmittelbar nach der Bombardierung von Hiroshima und Nagasaki durchgeführten und bis heute andauernden Untersuchungen hinsichtlich der Kurz- und Langzeitwirkungen radioaktiver Strahlung auf die unbelebte und belebte Natur.

Physikalisch-chemisch erzeugt die durch radioaktive Strahlung auf den Körper eines Lebewesens übertragene Energie Ionen, beim Durchgang durch eine Zelle mit mehreren Wechselwirkungen Ionisierungsbahnen (vergleichbar dem Geschehen einer Nebel-

kammer, die dieses Phänomen zum Sichtbarmachen von Strahlung ausnutzt). Ionisierte Moleküle können als Folge der aufgenommenen Energie zerbrechen oder durch weitere Reaktionen, die sich vom chemischen Verhalten nichtionisierter Moleküle drastisch unterscheiden, erhebliche Störungen im Organismus verursachen. Dies gilt für Strahlung von außen (Gamma- und Neutronenstrahlung) und Strahlung, die durch Aufnahme radioaktiver Substanzen in den Körper gelangen.

Wassermoleküle z.B. aus denen der menschliche Körper zu 80 % besteht, bilden Ionen und Radikale (hauptsächlich OH Radikale), die unter anderem Wasserstoffperoxid bilden können. Dieses ist ein starkes Zellgift.

Akute Vergiftungen von innen durch äußere Strahleneinwirkung spielen aber bei den relativ geringen Strahlendosen, die beispielsweise in der BRD nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl gemessen wurden, keine Rolle.

Bei Niedrigstrahlung bzw. beim Vorhandensein radioaktiven Materials in der Atmosphäre (und einem Fall- oder Wash-out durch Regen z.B.) hat man insbesondere mit Folge- oder Spätschäden zu rechnen.

- Werden z.B. die Eiweißstoffe der Chromosomen (DNS, RNS) einer normalen Körperzelle durch Strahlung geschädigt oder verändert, so kann die Zelle absterben oder den Schaden reparieren. Der Defekt kann jedoch auch von Tochterzelle zu Tochterzelle weitergegeben werden, die dann alle in ihrer normalen Funktion gestört sind.
- Sind z.B. Zellen betroffen, die für die Blutbildung von entscheidender Bedeutung sind (im Rückenmark), so kann Leukämie die Folge sein.
- für alle anderen bestrahlten Zellen gilt, daß als Spätfolge andere Krebserkrankungen auftreten können. Die Latenzzeit, d.h. die Zeit zwischen Bestrahlung und dem Ausbruch einer Krankheit, kann 20 Jahre und mehr betragen, wie das Beispiel von Hiroshima und Nagasaki zeigt.
- Neben den verschiedenen Formen von Krebs sind der Graue Star und eine allgemeine Schwächung der körpereigenen Abwehrkräfte als Folge radioaktiver Bestrahlung bekannt, auch in Folge geringer Dosen.
- Werden Keimzellen, d.h. Ei- und/oder Samenzellen durch Strahlung verändert und geschädigt, so werden genetische Schäden und resultierend daraus Mißbildungen häufig erst als rezessive Merkmale in der ersten Generation ohne Auswirkung.
- Eine große Gefahr stellt radioaktive Strahlung für ungeborene Kinder dar. Mißbildungen, Funktionsstörungen und geistige Behinderung kann die Folge sein. Aus den 60er Jahren ist bekannt, daß bei erhöhter Radioaktivität in den Niederschlägen die Zahl der Fehlgeburten und Mißbildungen erheblich zunimmt.

Zur Frage des erhöhten Risikos von Krebs, Mißbildungen und Fehlgeburten in Gebieten mit besonders hoher natürlicher Strahlenbelastung gibt es z.T. widersprechende Untersuchungsergebnisse. Nach einigen Studien muß man aber davon ausgehen, daß bereits geringfügig erhöhte radioaktive Belastung zu einer Erhöhung des Risikos führt (z.B. auch in der Nähe von Kernkraftwerken im Normalbetrieb). Einigkeit besteht in der Ärzteschaft darüber, daß die Dosis-Wirkung-Beziehung für radioaktive Belastung *linear* ist, d.h. jede Erhöhung der Strahlungsbelastung führt zu einem proportionalen Anstieg der Schädigung.

o Wie gelangt Radioaktivität in den menschlichen Körper?

In den ersten Meldungen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl wurde über eine deutlich erhöhte radioaktive Strahlung aus der atmosphärischen Luft berichtet, die in erster Linie auf Jod-131 zurückzuführen war.

Die Strahlung, die aus der Luft von außen auf den Körper einwirkt, ist für sich genommen jedoch kaum ein Anlaß zur Beunruhigung (vgl. Reichweite der Strahlung). Bedrohlich ist die Tatsache, daß bei der Atmung strahlende Materie mit der Luft in den Körper gelangt.

Werden diese Substanzmengen in den Körper aufgenommen und zerfallen dann, so erreichen die Strahlen ihren Wirkort in den Zellen ohne "schützende" Luftschicht. (Dies unterscheidet die künstlich verursachte Radioaktivität auch von der natürlichen: letztere kommt zu mehr als 30 % durch Höhenstrahlung und zu mehr als 50 % durch Erdstrahlung zustande, die nicht inkorporiert werden kann und daher relativ ungefährlich ist.)

Mit Niederschlägen (Regen, Schnee, Tau), z.T. aber auch infolge des Gewichts der transportierten Partikel, gelangen die radioaktiven Materialien auf die Erdoberfläche. Dieses Ausfallen und Auswaschen der radioaktiven Materialien ist der Hauptgrund für die schnelle Verringerung der gemessenen Aktivitätswerte in der Luft (!).

Durch das Ausfallen und/oder Auswaschen erfolgt am Boden zunächst eine relative Anreicherung der radioaktiven Substanzen: Aus einem großen Luftvolumen werden die Substanzen in eine eng begrenzte Schicht auf der Erdoberfläche gebracht.

Kontakt mit radioaktiv belasteten Pflanzen, mit Wasser oder Boden (Sand) überträgt die radioaktiven Materialien auf die Hautoberfläche. Damit gelangt die Strahlung in unmittelbare Nähe des Körpers (oder bei im Sand spielenden Kindern über den Mund in den Körper).

Derartige "Verunreinigungen" von Pflanzen können auch durch gründliches Waschen - wie von offizieller Stelle geraten wurde - nur zu einem geringen Teil entfernt werden.

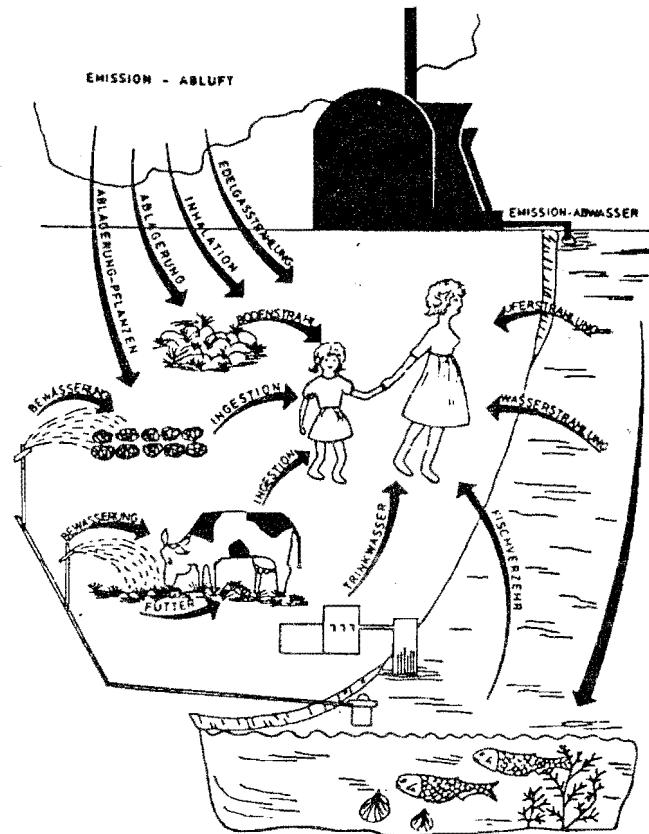
Bei den diesbezüglichen Empfehlungen (keine Kinder im Sandkasten; Gemüse waschen) darf jedoch nicht übersehen werden, daß die radioaktiven Materialien nicht auf der Oberfläche von Pflanzen oder der Erde verbleiben. Sie dringen, beschleunigt durch Niederschläge, in das Erdreich ein bzw. werden durch Blattoberflächen in das Innere der Pflanzen übernommen.

Umgekehrt gelangen auch radioaktive Stoffe aus dem Erdreich mit nicht-radioaktiven Nährstoffen in die Pflanzen (und in die weiteren Nahrungsketten).

Durch den Verzehr derartig "verunreinigter" Nahrungsmittel gelangen die radioaktiven Substanzen völlig unbemerkt (!) in den Körper, reichern sich unter Umständen in bestimmten Organen oder Körperteilen an und schädigen durch den radioaktiven Zerfall die ungeschützten Zellen.

Eine wichtige Nahrungskette (insbesondere für Jod-113) geht über die Stufen: **Luft - Gras - Kuh - Milch - Mensch.**

Viele Schritte in Nahrungsketten führen zu Anreicherungen von radioaktivem Material, d.h. die Konzentration nimmt von Stufe zu Stufe zu. (Z.B. wurden in Fischen eine Anreicherung von Strontium-90 um einen Faktor von mehr als 20.000 festgestellt.)



o Die Sache mit den Grenzwerten

Ist von Grenzwerten oder Toleranzwerten für radioaktive Belastungen die Rede, so werden diese meist so mißverstanden, daß Dosiswerte unterhalb der genannten Grenzwerte unschädlich seien - zumal die Grenzwerte, wie vom Gesetzgeber beteuert wird, ja schon außerordentlich niedrig sind.

Diese Annahme ist völlig falsch:

Jede noch so geringe (Erhöhung der) Strahlenbelastung ist schädlich!

Ein Grenzwert war und ist stets eine Angabe, die besagt, welches Risiko - welche Schädigungsquote also - der Gesetzgeber bereit ist zu tolerieren, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen (z.B. den Betrieb von Kernkraftwerken).

Die Entscheidung über Grenzwerte wird zwar mit naturwissenschaftlicher Assistenz getroffen (oder revidiert), ist aber dennoch eine politische Entscheidung. Wenn unterschiedliche Behörden oder Ministerien - wie beispielsweise nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl - unterschiedliche Grenzwerte nennen oder festsetzen, so drückt dies nichts anderes aus, als "unterschiedliche Risikobereitschaft".

Welche Fehleinschätzungen bei der radioaktiven Gefährdung getroffen wurden, dokumentieren folgende Beispiele:

- o Kurz nach 1900 galten noch 2500 Röntgen pro Jahr als unschädlich.
- o 1930 glaubte man, 50 Röntgen pro Jahr tolerieren zu können.

- o 1948 setzte der Gesetzgeber den Wert auf 15 Röntgen pro Jahr herab.
- o Heute ist der Grenzwert gespalten:
 - 5 rem pro Jahr für beruflich Strahlenexponierte (z.B. Beschäftigte in einem Kernkraftwerk),
 - für alle anderen Menschen 0,03 rem pro Jahr (bei Bestrahlung des ganzen Körpers).

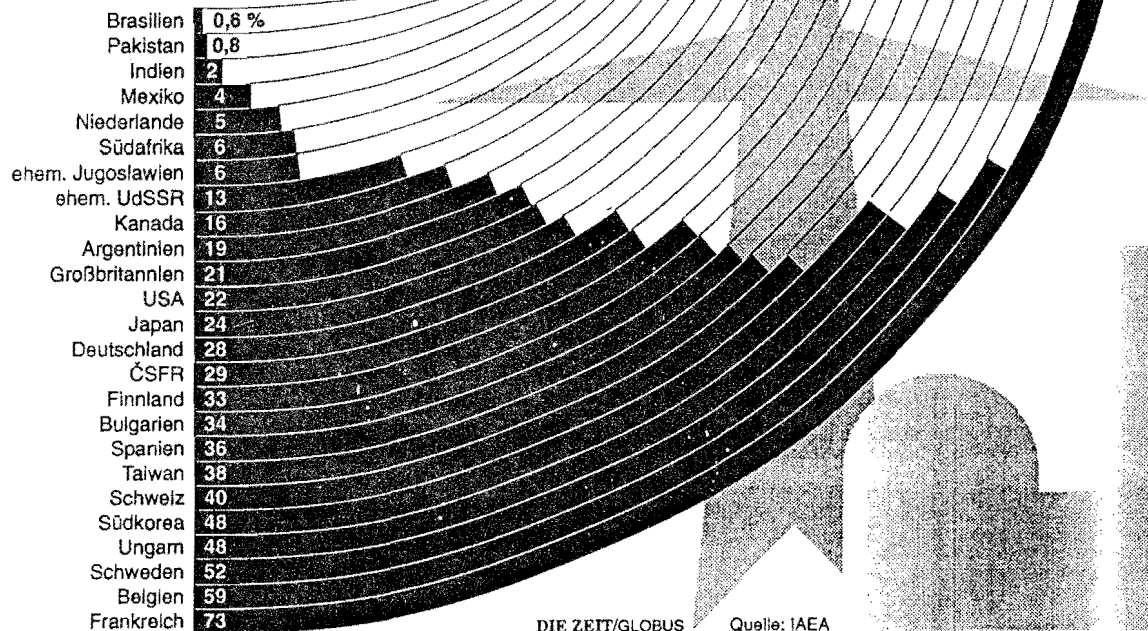
Zu berücksichtigen ist bei der Grenzwert-Diskussion, daß die meisten Überlegungen und Risikoabschätzungen von einem erwachsenen, gesunden, normalgewichtigen Mann (!) ausgehen. Säuglinge, Kinder, Schwangere und Menschen mit labiler Gesundheit sind deutlich stärker gefährdet.

8.4.4 Atomwirtschaft

o Atomwirtschaft international

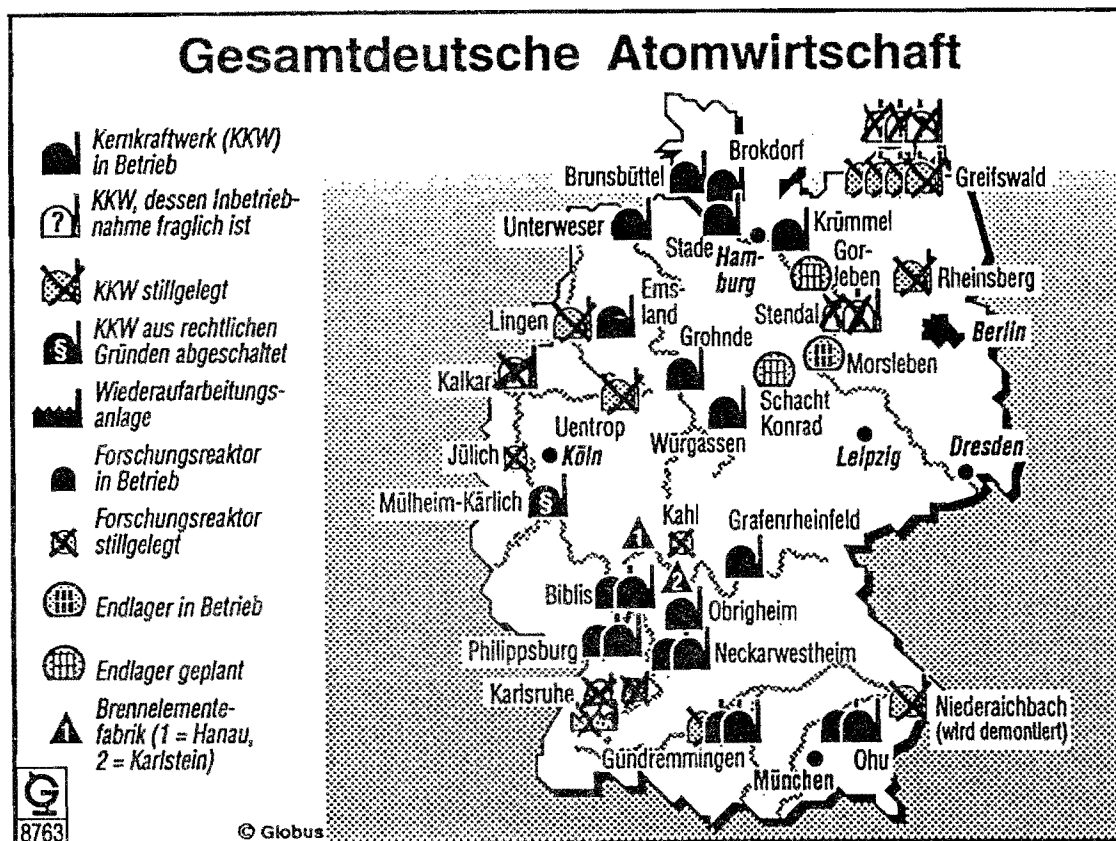
Atomstrom

Anteil an der Stromversorgung 1991
in %



Nach: DIE ZEIT vom 01.01.1993, S. 32

o Atomstrom gesamtdeutsch



Nach: Bundeszentrale für politische Bildung, a.a.O., S. 24

8.4.5 Die öffentliche Meinung. Oder: Die öffentlichen Meinungen?⁹⁾

Aufschlußreich ist eine Befragungsreihe des Instituts für Demoskopie Allensbach von 1978 bis März 1987. Den Befragten waren jeweils drei Standpunkte vorgelegt worden, verbunden mit der Frage, welcher der eigenen Meinung entspreche (siehe nebenstehende Tabelle).

Bis Mitte 1981 verlief die Tendenz bei der Gruppe der Befürworter des Baus weiterer Kernkraftwerke relativ uneinheitlich. Danach, und erst recht im Gefolge des Reaktorunglücks von Tschernobyl, ist eine rapide Abnahme der Befürworter erkennbar. Ebenfalls anfänglich uneinheitlich, zum Schluß aber deutlich bis auf über die Hälfte der Befragten steigend verlief die Tendenz bei der Gruppe derjenigen, die zwar keine neuen Kernkraftwerke wollen, die bestehenden aber weiterbetreiben und nicht abschalten wollen.

9) Nach: Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.), a.a.O., S. 38f.

Die Bevölkerung zur Kernkraft-Diskussion

Frage: „Eine Frage zu Atomkraftwerken: Auf dieser Liste stehen drei Standpunkte, könnten Sie sagen, wofür Sie sind, was auch Ihre Meinung ist?“

- Wir müssen weitere Kernkraftwerke bauen
- Wir sollten keine neuen Kernkraftwerke mehr bauen, aber die bestehenden weiterbetreiben
- Wir sollten mit der Erzeugung von Kernkraftenergie ganz aufhören und die bestehenden Kernkraftwerke stilllegen

	März 1980 %	Mai/Juni 1981 %	Juni 1984 %	Mai/Juni 1986*) %	Juli 1985 %	März 1987 %	Juni 1988 %	Juli 1989 %	März 1990 %
bauen	37	36	20	8	7	8	4	5	5
betreiben	36	36	52	48	51	55	49	51	52
stilllegen	15	15	14	36	34	28	40	31	35
Unentschieden	12	13	14	8	8	9	7	13	8
	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Frage: „Bei der Erzeugung von Kernenergie entstehen ja radioaktive Abfälle, die gelagert werden müssen. Wie groß ist Ihr Vertrauen darauf, daß wir die Lagerung dieser Abfälle bei uns auf Dauer lösen können? Würden Sie sagen, Sie haben ...“

	Bevölkerung insgesamt %
„sehr großes Vertrauen“	1
„relativ großes Vertrauen“	16
„etwas Vertrauen“	34
„überhaupt kein Vertrauen“	40
Unmöglich zu sagen	9
	100

*) Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl
Quelle: Allensbach Archiv, März 1990

Nach: Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.), a. a. O., S. 39

Die Verfechter eines schnellen Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie in Deutschland hatten allerdings auch Mitte 1991, gut fünf Jahre nach Tschernobyl, in der Bevölkerung keine Mehrheit hinter sich. Nach einer vom Deutschen Atomforum im September veröffentlichten repräsentativen Meinungsumfrage des Allensbacher Instituts für Demoskopie waren wie schon 1987 28 % der Bundesbürger in Ost- und Westdeutschland der Meinung, daß man mit der Erzeugung von Kernenergie ganz aufhören und die bestehenden Kernkraftwerke stilllegen sollte.

Die Stilllegungs-Befürworter waren im Westen Deutschlands mit 29 % stärker vertreten als in den neuen Bundesländern, wo 26 % dieser Meinung waren. Auch bei den Wählern der SPD, die den Kernenergie-Ausstieg energisch durchzusetzen versucht, hatte diese Haltung bis zu dem Zeitpunkt der Umfrage keine Mehrheit gefunden: 36,3 % der SPD-Wähler im Westen und 30,1 % im Osten waren dafür, die bestehenden Kernkraftwerke stillzulegen und die Nutzung der Kernenergie zu beenden. Bei der CDU lauteten die entsprechenden Werte 18,2 und 23,2 %, bei der FDP 26,8 und 20,0 % und bei den Grünen 66,9 und 39,5 %.

Insgesamt wurde der 1991 erreichte Stand der Nutzung der Kernenergie in Deutschland von fast zwei Drittel der Bürger akzeptiert. 6 % waren in der Allensbach-Umfrage der Meinung, man müsse weitere Kernkraftwerke bauen. 28 % plädierten dafür, alte Kernkraftwerke mit überholter Technik durch moderne und sichere Kernkraftwerke zu

ersetzen. 30 % entschieden sich für die Auffassung "Wir sollten keine neuen Kernkraftwerke mehr bauen, aber die bestehenden Kernkraftwerke weiterbetreiben" - eine Meinung, die in der Praxis auf ein Auslaufenlassen der Kernenergie nach der Jahrtausendwende hinausläuft.

Noch deutlicher wird das Bild bei den Antworten auf Fragen nach der persönlichen Vermutung über die Zukunft der Kernenergie: Die Annahmen bewegten sich zu 84 % in dem Bereich vom ausschließlichen Weiterbetrieb der bestehenden bis hin zum Bau neuer Kernkraftwerke. Nur 8 % gingen von einer Einstellung der Nutzung der Kernenergie und einer Stilllegung der bestehenden Anlagen aus.

Die Zukunft der Elektrizitätserzeugung wurde Mitte 1991 offensichtlich in einer Mischung aus Kern- und Sonnenenergie gesehen: Befragt nach der Einschätzung, von welcher Möglichkeit in den nächsten 20, 30 Jahren der größte Beitrag zur Stromerzeugung stammen wird, nannten 61 % der Westdeutschen und 57 % der Ostdeutschen Atomkraftwerke. 58 % (West) und 48 % (Ost) nannten die Sonnenenergie.

Zunehmend gute Noten erhielt die Kernenergie für ihre Umweltfreundlichkeit: Genau die Hälfte der Westdeutschen und 56 % der Ostdeutschen waren der Meinung, daß Kernkraftwerke die Umwelt weniger belasten als Kohlekraftwerke. 1984 waren 37 % und 1989 45 % der Westdeutschen dieser Ansicht.

8.4.6 Sechs Jahre nach Tschernobyl

Nervenkrank durch Tschernobyl

Russische Studien belegen auch Anstieg der Selbstmordrate

ost MOSKAU, 13. Januar. Die bei den Aufräumarbeiten nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl eingesetzten mehr als 800000 Arbeiter, Soldaten und Ingenieure leiden nach Angaben russischer Ärzte überdurchschnittlich häufig an Nervenkrankheiten und Schädigungen des Immunsystems. Die Moskauer Zeitung *Moscow Times* zitierte jetzt eine Studie, derzufolge 80 Prozent von 1600 in einer Petersburger Klinik untersuchten Katastrophenhelfern unter ernststen psychischen Problemen leiden. Laut einer Moskauer Studie wurden bei 40 Prozent der um medizinische Hilfe bittenden Betroffenen Geisteskrankheiten, wie etwa Gedächtnisverlust, festgestellt.

Die Selbstmordrate unter den Katastrophenhelfern liegt laut dem Sprecher des Tschernobyl-Komitees der russischen Regierung, Stanislaw Trojtskij, bei 18 Prozent und damit um das Zwanzigfache über dem Landesdurchschnitt. Von den rund 7000 seit dem Reaktorunfall im April 1986 gestorbenen Aufräumarbeitern

hätten 1350 den Freitod gewählt. Vielen Geschädigten drohe der Verlust ihres Arbeitsplatzes, berichtet die *Moscow Times*. Betroffene Militärflieger seien aus der Armee entlassen worden. Sie haben in Rußland einmalig Anspruch auf 300 bis 400 Mark, wenn sie nachweisen können, daß ihre Krankheit durch den Einsatz verursacht wurde. Danach stehen ihnen monatlich 500 Rubel, also etwa 1,50 Mark, sowie eine Halbierung der Miete zu. „Leider hat der Staat kein Geld, dieses Gesetz zu finanzieren“, sagte Trojtskij.

Die Zahl der durch die Reaktorkatastrophe kranken Menschen bezifferte das russische Umweltministerium kürzlich auf über 1,3 Millionen. Allein in Rußland lebten rund 2,7 Millionen Menschen in radioaktiv belasteten Gebieten.

8.4.7 Ein unfreiwilliger Großversuch¹⁰⁾

Die Bombe zündete mit Verzögerung. Schon im November 1992 meldeten die Hamburgischen Electricitäts-Werke (HEW) als Betreiber an das für die Aufsicht zuständige Energieministerium Schleswig-Holsteins in Kiel, daß bei der Inspektion im Kernkraftwerk Brunsbüttel (ein Siedewasserreaktor mit 771 Megawatt Leistung, der seit 1976 in Betrieb ist) Risse in Schweißnähten und Anrisse in den Rohrwänden unmittelbar neben den Schweißverbindungen entdeckt worden seien. Aber niemand schien sich für diese Nachricht zu interessieren.

Erst eine Fernsehsendung Ende Januar 1993 weckte Aufmerksamkeit und Ängste: Von einem drohenden Tschernobyl an der Elbe bis zum Ende des kerntechnischen Sicherheitskonzepts ist seitdem im Krieg der Schlagzeilen und Verlautbarungen die Rede. Behauptungen und Dementis folgen immer schneller aufeinander, eine Sachfrage ist in der Öffentlichkeit zu einem Glaubensproblem geworden, vor dem selbst Bundesumweltminister Klaus Töpfer „außerordentlich besorgt“ warnte: „Wir müssen eine Streitkultur entwickeln, in der sich alle ändern. Das gilt auch für mich.“

Der Streit dreht sich bislang um fünf Risse unter zirka 140 Befunden. Sie wurden in Laboruntersuchungen an fünf herausgetrennten Schweißnähten aus Rohren des Reaktorwasserreinigungs- und Lagerdruckwassersystems festgestellt. Diese Rohre bestehen aus austenitischem Stahl, der durch hohen Chrom- und Nickelanteil besonders „zäh“ und korrosionsbeständig ist. Die Legierung Austenit (Markenname Nirosta) ist in Brunsbüttel durch einen Zusatz von Titan besonders „stabilisiert“.

Die Zähigkeit dieses Werkstoffes, der außerdem in Hilfsanlagen des Reaktors und des eigentlichen Kraftwerks eingebaut ist, spielt auch eine Rolle in dem Sicherheitskonzept „Leckage vor Bruch“: Bevor ein Rohr ohne Vorwarnung bricht, tritt durch Risse oder Spalten soviel Wasser aus, daß es von Meßgeräten mit Sicherheit gemeldet wird. Bei Rohren, die unter hohem Druck und hoher Temperatur stehen, wird eine andere Stahlliegierung verwendet, und sie werden innen mit Austenit gegen Korrosion verkleidet. Wegen Festigkeitsproblemen wurden solche ferritischen Rohre in den vergangenen Jahren ausgetauscht; der Austenit hat dagegen einen „unbeabsichtigten fünfzehnjährigen Großversuch“ (so Manfred Timm, HEW-Vorstandsmitglied) durchgemacht.

Deswegen spitzt sich die Debatte auf die Fachfrage zu: Gibt es unter den normalen Druck- und Temperaturbedingungen des Kraftwerkbetriebs eine bislang nicht beobachtete interkristalline Rißkorrosion im Austenit? Dann wäre in der Tat ein wichtiger Baustein des Konzepts herausgebrochen. Oder handelt es sich bei den Rissen in den Schweißnähten und Anrissen in den Rohrwänden, die alle im radialen Wärmeeinzugsbereich der Schweißnaht liegen, um Schweißfehler, sogenannte Heißrisse durch unsachgemäße Bearbei-

tung? Sind diese Risse also von Anfang an da gewesen oder erst während des Reaktorbetriebs entstanden?

Haarrisse im Innenwandbereich austenitischer Rohrleitungen sind metallurgisch nichts Neues; geändert, nämlich verbessert hat sich die Röntgentechnik, die heute sehr viel mehr Verdachtsstellen zeigt. Oft stellen diese sich bei der Prüfung als Kerben, Kanten oder harmlose Schnitte heraus, die auf die Festigkeit des Rohres keinen Einfluß haben. Das beweisen unter anderem die regelmäßigen, von den Behörden vorgeschriebenen Druckprüfungen.

Der Hersteller Brunsbüttels, die Erlanger Kraftwerk-Union, sagt nach der Laboruntersuchung der herausgeschnittenen Stücke kategorisch: Der Vergleich der Kontrollaufnahmen aus dem Jahre 1979 und jetzt belege eindeutig, daß diese Risse von Anfang an existiert haben. Dasselbe Ergebnis hat eine Untersuchung der Ablagerungen in den Rissen gebracht. Dem widerspricht das Kieler Ministerium: Die Risse seien betriebsbedingt. Drei Gutachter hätten die mit 13.3 B bezeichnete Naht im Lagerdruckwassersystem geprüft und den gewachsenen Riß als Folge der Betriebsbelastungen qualifiziert. Der jetzt als eine Art Schiedsrichter fungierende Ausschuß für druckführende Komponenten der Reaktorsicherheitskommission wird voraussichtlich erst Ende Februar Bericht erstatten. Viel Zeit also noch für Spekulationen.

Zur zerstörungsfreien Prüfung auf Risse gibt es zwei Verfahren, Ultraschall und Röntgen. Zur Feststellung, ob ein Riß gewachsen ist, müssen frühere und neue Röntgenaufnahmen verglichen werden. Diese Aufnahmen werden nach einem bestimmten Schema hergestellt: Ein sogenannter DIN-Steg, ein Raster aus dünnen Drähten, wird auf die zu durchleuchtende Stelle gelegt. Nur wenn er auf der Aufnahme scharf abgebildet ist, darf der Film als korrekt zu den Akten genommen werden; die Behauptung, die früheren Vergleichsaufnahmen seien unscharf oder bewußt unter einem Strahl-Winkel aufgenommen worden, der Abweichungen nicht erscheinen lasse, würde heißen, daß sowohl der Hersteller wie der vom

Genehmigungsministerium beauftragte Sachverständige sich einer Pflichtverletzung schuldig gemacht hätten; auch die Fachleute im Ministerium hätten sich in diesem Fall mit unvollständigen Unterlagen zufriedengegeben, die immerhin Bestandteile der Betriebsgenehmigungsurkunde sind.

Dafür fehlt bislang jeder Beweis. Im Februar

10) Nach: H. Bieber 1993, S. 33.

haben zwei Mitarbeiter der privaten, inzwischen erloschenen Prüffirma Aweco (Gesellschaft für zerstörungsfreie Materialprüfung mbH) erklärt, bei der Herstellung der Kontrollaufnahmen seien Pusch, Schlamperei und bewußte Manipulation an der Tagesordnung gewesen. Die Männer wurden Ende vergangener Woche noch von der Staatsanwaltschaft Itzehoe vernommen, die zu den Ergebnissen bisher noch keine Stellung genommen hat.

Ein ehemaliger Mitarbeiter einer anderen privaten Prüffirma (der allerdings nicht in Brunsbüttel eingesetzt war) behauptete in der vergangenen Woche, man habe wegen des ständigen Zeitdrucks in den Kernkraftwerken „flusig“ gearbeitet: „Es gab Möglichkeiten, Prüfergebnisse zu manipulieren. Und die sind ausgenutzt worden“, erzählte er der Hamburger *Morgenpost*. Auch für diese Aussage gibt es bislang noch keinen Beweis. Im Kieler Energieministerium heißt es, man werde mit Informationen aller Art bombardiert. Beamte des Hauses seien unterwegs, diese Vorwürfe zu kontrollieren.

Solche Beschuldigungen will der Betreiber HEW natürlich geklärt wissen. Wenn es im Fall Brunsbüttel tatsächlich Fälschungen von Röntgen-Kontrollaufnahmen gegeben haben sollte, ließe sich – auf juristisch dünnem Boden, wie die Staatsanwaltschaft urteilt – möglicherweise ein Verstoß gegen den Paragraphen 327 des Strafgesetzbuches herleiten; andere Gesetzesverstöße wären verjährt. Die Erschleichung der Betriebsge-

nehmigung würde das Aus für Brunsbüttel bedeuten; die Kieler Genehmigungsbehörde könnte aus einer belegten Aufforderung zum Betrug auf die Unzuverlässigkeit des Betreibers schließen und ihm das Wiederanfahren Brunsbüttels verbieten.

Der Verdacht, daß hier mit Technik Politik gemacht werden soll, liegt nahe. Es ist das erklärte Ziel der Kieler SPD-Regierung, aus der Kernkraft auszusteigen und die drei Reaktoren im Land abzuschalten, was bislang an der Gesetzeslage gescheitert ist. Ein nicht begründetes Verbot, Brunsbüttel wieder in Betrieb zu nehmen, würde hohe Schadenersatzforderungen des Betreibers an das Land Schleswig-Holstein auslösen.

In der Sache scheint auch Kiel auf Entschärfung der Debatte zu setzen. Die bisherige Praxis, die Verantwortung für die Prüfung sicherheitsrelevanter Komponenten zwischen Bauherrn respektive Betreiber, Ministerium und Gutachter (in der Regel des TÜV) aufzuteilen, müsse überdacht werden, verlautete am vorigen Wochenende. Das klingt anders als der Vorwurf der Vertuschung. Und der quasi nebenbei ausgesprochene Verdacht, es seien in Brunsbüttel im April 1992 verheimlichte Probleme mit zwei Ventilen aufgetreten, hat sich erledigt: Entsprechende technische Änderungen sind beantragt. Und für den beantragten Austausch der noch vorhandenen ferritischen Rohre des Materials WB 35 liegt die Genehmigung aus Kiel noch nicht vor.

8.4.8 Atomkraft: Die Klima-Lüge¹¹⁾

Glaubt man ihren PR-Kampagnen, dann treibt Deutschlands Atomgemeinde neuerdings vor allem eine Sorge: die Rettung des blauen Planeten vor der drohenden Klima-Katastrophe. „Bleiben wir realistisch“, forderten da etwa „Ihre Stromversorger“ in bundesweit veröffentlichten Inseraten kurz vor Weihnachten. Mit der Weltbevölkerung, so der Anzeigentext, wachse ebenso stetig der Energie- und Strombedarf. Zugleich müsse aber der Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid vermindert werden. „Mit Energiesparen allein“ sei dies „nicht zu schaffen“; „schon deshalb“ seien wir auf „Kernkraft“ angewiesen.

Den gleichen Schluß ließ auch die Nuklear-Abteilung des Forschungsinisteriums im vergangenen Dezember verbreiten. Wolle man, wie vom Bundeskabinett beschlossen, den CO₂-Ausstoß bis zum Jahr 2005 wirklich um ein Viertel reduzieren, dann müßten mindestens acht weitere Atomkraftwerke errichtet werden, kalkulierten die beamteten Förderer der Atomenergie. Ohne zusätzliche Kernenergie-Nutzung, schrieben auch die Kollegen im Wirtschaftsressort in den neuesten Energie-Bericht der Bundesregierung, sei sogar „ein Anstieg der CO₂-Emissionen nicht auszuschließen.“ Zur Lösung des „Akzeptanzproblems Kernenergie“, kündete Wirtschaftsminister Möllemann an, werde er deshalb eine neue „Energie-Kommission“ mit Vertretern aus Umweltverbänden und Industrie berufen. Deren Votum soll den vielbeschworenen „energiepolitischen Konsens“ der Parteien wiederherstellen.

Die gemeinsame Weihnachtsbotschaft der Stromproduzenten und ihrer Ministerien war der neueste Höhepunkt einer Kampagne, mit der die deutsche Atomindustrie das Negativ-Image der Atomstrom-Produktion zu überwinden sucht. Nicht die Erinnerung an das nukleare Inferno von Tschernobyl, sondern der Ausblick auf Verwüstung, Völkerwanderung und Öko-Kriege sollen die öffentliche Energie-Debatte bestimmen. „Kernkraft produziert kein CO₂“,

heißt es in den Anzeigen, folglich müsse gerade diese Energie-Quelle um so stärker genutzt werden.

Müssen also Atomkraft-Gegner und Umweltschützer „angesichts des Treibhauseffekts neu über Atomkraftwerke nachdenken“, wie nun Klaus Piltz, Vorstandsvorsitzender des Energie-Konzerns Veba, fordert? Hat die „Kernkraft ihre Zukunft noch vor sich“, wie Klaus Barthelt, der ehemalige Chef der Siemens-Tochter Kraftwerksunion selbstsicher prophezeit?

Ganz sicher nicht, denn bei genauere Überprüfung erweisen sich die Visionen von der nuklear betriebenen Rettung aus der brennenden Klima-Not als eine krude Mischung aus technokratischem Wunschdenken und schlichter Ignoranz gegenüber den tatsächlichen Energieproblemen der Industriegesellschaft.

Wie unrealistisch eine CO₂-Minderungsstrategie auf der Basis von atomar erzeugter Elektrizität wäre, offenbart schon das krasse Mißverhältnis zwischen den rein technischen Möglichkeiten der Atomindustrie und der eigentlichen Größenordnung des Klima-Problems. So tragen die derzeit betriebenen 420 Atomkraftwerke in aller Welt gerade mal knapp fünf Prozent zum Energieverbrauch der Menschheit bei. Das heißt: Selbst wenn es gelänge, die Zahl der Atomstrom-Zentralen zu verdoppeln und damit Kohle-, Öl- und Gas-gefeuerte Kraftwerke der gleichen Kapazität zu ersetzen, könnte nur wenig mehr als ein Zwanzigstel des weltweiten CO₂-Aus-

11) Nach: Schuhmann 1992, S. 28f.

stoßes von rund 20 Milliarden Tonnen jährlich vermieden werden. Auch bezogen auf die Bundesrepublik ergäbe eine Expansion der nuklearen Stromerzeugung für den Klimaschutz nur geringen Ertrag. Wenn etwa nach dem Vorbild Frankreichs der Nuklear-Anteil im deutschen Stromnetz auf 70 Prozent gesteigert würde, könnten theoretisch doch nur maximal 12 Prozent des Kohlendioxid-Auswurfs der alten Bundesrepublik eingespart werden. Zugleich müßten aber unter Mißachtung des zusätzlichen Risikos einer atomaren Katastrophe in dicht besiedeltem Gebiet zehn bis zwölf neue Blöcke vom Brokdorf-Format zum Preis von weit über 60 Milliarden Mark errichtet werden.

Angesichts solcher Dimensionen liegt der Verdacht nahe, daß es den Managern der Energiewirtschaft bei der CO₂-Debatte gar nicht um eine schlüssige Klimaschutz-Strategie, sondern eher um die „Besitzstandswahrung“ ihrer Atom-Kapazität geht. Und eben darüber muß schon bald entschieden werden. Wenn die Reaktoren in Stade, Obrigheim und Würgassen in den nächsten Jahren wegen Altersschwäche stillgelegt werden, steht die Frage an, wie und ob überhaupt hierfür Ersatz geschaffen werden muß.

Doch die anstehende Erneuerung des Kraftwerksparks muß nicht zwangsläufig in einen Atom-Konflikt führen, wie er die Republik in den siebziger Jahren von Wyhl bis Brokdorf bewegte. Die meisten ökologisch orientierten Energie-Wissenschaftler sehen darin viel eher die große Chance, die Energiewirtschaft zu einer Reform ihres bisherigen Systems zu zwingen. „Wenn ernsthaft darum gestritten wird, mit welchen Maßnahmen zu welchen Kosten der Treibhaus-Gefahr am schnellsten zu begegnen ist“, meint der Greenpeace-Energiefachmann Mathias Strüwe, „dann wird schnell klar, daß Atomkraftwerke sogar eines der größten Hindernisse für eine wirksame Klimaschutz-Strategie sind.“

Eine solche Behauptung scheint nur auf den ersten Blick widersinnig. Denn mögen die Uran-Maschinen auch nur wenig Kohlendioxid freisetzen, so sind

sie doch das technologische Rückgrat eines aberwitzig verschwenderischen Energiesystems. Fast zwei Jahrzehnte nach der ersten Ölkrise gehen auf dem Weg vom Energierohstoff wie Kohle, Uran oder Gebirgswasser bis zur Nutzung dieser Energie durch die Verbraucher in Form von Heizwärme, Licht oder Transport immer noch 70 Prozent des ursprünglichen Energiegehalts verloren. Die größte Verschwendung wird in den zentralen Stromkraftwerken betrieben, weil dort fast zwei Drittel der eingesetzten Energiemenge als Abwärme verloren geht. Wo Wärme gebraucht wird, bei der Gebäudeheizung und in der Produktion, wird diese wiederum mit hohen Verlusten in zumeist veralteten Heizkesseln durch die Verbrennung von Kohle, Öl oder Gas aufwendig erzeugt.

Zudem ist der Verbrauch der so verschwenderisch hergestellten Nutzenergie viel höher als eigentlich notwendig, weil Gebäude schlecht isoliert, Elektrogeräte veraltet und Motoren ineffizient sind. Insgesamt, so schätzte die Studien-gruppe der Klima-Enquete des Bundestages, könnte im Gebiet der alten Bundesrepublik schon mit den heute verfügbaren Techniken der Energieverbrauch und in annähernd gleichem Maße auch der Kohlendioxid-Ausstoß um rund 40 Prozent gesenkt werden.

Um eine solche „Effizienz-Revolution“ herbeizuführen, bedürfte es freilich enormer Investitionen in Milliardenhöhe quer durch alle Verbrauchssektoren. An erster Stelle müßte die Rückführung der unsinnigen Trennung von Wärme- und Elektrizitätserzeugung stehen. Mit Hilfe der Kraft-Wärme-Koppelung (KWK), also Kleinkraftwerken, die gleichzeitig Strom und Heizungs- oder Prozeßwärme liefern, kann der Nutzungsgrad der eingesetzten Energie auf bis zu 90 Prozent gesteigert werden. Allein im industriellen Bereich könnten so Stromkapazitäten von 10 bis 12 000 Megawatt entstehen.

Ähnlich groß sind die Möglichkeiten bei öffentlichen Einrichtungen wie Schwimmbädern, Krankenhäusern und Verwaltungszentralen. Für ein modernes Energiesystem dieser Art ist die Atomtechnik jedoch gänzlich ungeeignet. Der kleine Reaktor von nebenan wäre nicht nur viel zu gefährlich, sondern auch völlig unwirtschaftlich. Dagegen könnten moderne KWK-Maschinen, trotz der Befeuerung mit Gas oder gar Kohle, weitaus mehr Kohlendioxid einsparen als eine vergleichbare Atomstrom-Herstellung, weil zugleich viele tausende alter Heizkessel überflüssig würden.

Mit jeder Mark, die für sparsame Geräte und Lampen, für Wärmedämmung und den Bau von KWK-Anlagen ausgegeben wird, so konnten die Mitarbeiter des Öko-Instituts vorrechnen, ließe sich deshalb drei bis fünfmal mehr Kohlendioxid einsparen als mit der gleichen Investition in neue Atomzentralen.

Das politische Kernproblem einer solchen Effizienz-Strategie ist jedoch nach wie vor ungelöst: Die Frage nämlich, wer das notwendige Kapital aufbringen soll. Weil Staat und Steuerzahler damit überfordert wären, fordern Umweltverbände und Wissenschaftler seit Jahren die Umwandlung der großen bundesdeutschen Stromkonzerne in „Energie-Dienstleistungs-Unternehmen“, die statt immer mehr Strom zu verkaufen, mit moderner Einspartechnik und KWK-Anlagen ihr Geld verdienen sollen. Daß dies keine reine Utopie ist, demonstriert seit langem eine wachsende Zahl amerikanischer Elektrizitäts-Unternehmen. In bisher schon 18 US-Bundesstaaten wurde den Stromproduzenten per Gesetz vorgeschrieben, daß sie vor der Errichtung eines neuen Kraftwerks erst nachweisen müssen, ob sich die gleiche Menge Strom nicht ebenso einsparen läßt, wenn das Kapital in die Anschaffung ver-

besserter Nutzungstechniken fließt. In der Folge dieses „least-cost-planning“ stiegen die Ausgaben der US-Stromproduzenten für Einspartechniken auf mittlerweile 1,3 Milliarden Dollar jährlich. Die „Negawatt“-Strategie gerät dabei keineswegs zum Schaden für die Unternehmen. Denn im Gegenzug genehmigen die Aufsichtsbehörden die Umlegung der Kosten auf die Strompreise einschließlich der marktüblichen Rendite. Draufzahlen müssen aber auch die Kunden nicht. Der sinkende Verbrauch gleicht den höheren Preis bei weitem wieder aus.

Gemessen an solchen Programmen befinden sich Deutschlands „Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen“ (EVU) noch in der energiepolitischen Steinzeit. Ganz praktisch erfahren dies derzeit die Bürger im fränkischen Erlangen. Dort streiten Bürgerinitiativen gemeinsam mit Greenpeace gegen die geplante Errichtung eines dritten 750-Megawatt-Blocks im Kohle-Großkraftwerk Frauaurach, mit dem die Bayernwerke-Tochtergesellschaft GFA vorgeblich drohenden Engpässen im Jahr 2000 vorbeugen will. Die Investition in Höhe von 2,2 Milliarden Mark wäre jedoch volkswirtschaftlicher

Unsinn. Im Auftrag der Stadtverwaltung konnten Gutachter des angesehenen Hannoveraner Eduard-Pestel-Instituts für Systemforschung detailliert nachweisen,

daß die gleiche Stromkapazität durch die Förderung des Kaufs sparsamer Elektrogeräte und Maschinen viel billiger zu beschaffen wäre. Im Resultat, so die Gutachter, „ließen sich also mit dem Geld für ein Kraftwerk durch eine – zugleich die CO₂-Emissionen senkende – Einsparpolitik zwei volle Kraftwerke“ der geplanten Größe „vermeiden“. Mehr noch, würden die Bayernwerke auch nur knapp 40 Prozent des gleichen Kapitals Stadtwerken und Industriebetrieben für den Bau von KWK-Anlagen zur Verfügung stellen, könnte auch damit ein 700 Megawatt-Kraftwerk er-

setzt werden. Mit einem solchen Negawatt-Ansatz wollen Bayerns Stromfürsten aber nichts zu tun haben. „Die Stromversorgung“, beschied ein GFA-Vorständler, sei schließlich „keine rein karitative Veranstaltung.“

Daß die deutschen EVU-Manager sich derlei Ignoranz noch immer leisten können, ist vor allem eine Folge des seit 1935 beinahe unverändert geltenden deutschen Energiewirtschaftsrechts. Dieses sichert den einzelnen Unternehmen das Monopol in ihren Versorgungsgebieten und verpflichtet sie hierfür lediglich zur sicheren Versorgung. Eine behördliche Kontrolle der Investitionen des staatlich sanktionierten Kartells findet praktisch nicht statt. Seit Jahrzehnten ließen die Stromriesen, allen voran die Preußen-Elektra, der RWE-Konzern und die Bayernwerke, deshalb immer größere Stromzentralen errichten und schufen so mit gesetzlich garantiertem Gewinn enorme Überkapazitäten von rund zwanzig Prozent. Dieser gigantische Kraftwerkspark und darunter insbesondere 23 Atomkraftwerke sind es, die heute der Energiewende im Wege stehen. So würde der verstärkte Bau von KW-Anlagen dem Atomstrom unmittelbare Konkurrenz machen. Vielfach verweigern die EVUs den Betreibern kleiner Heizkraftwerke einen realen Abnahmepreis für ihren Strom und verhindern so den Ausbau. Den gleichen Zweck verfolgen die von Kritikern sogenannten Knebelverträge mit vielen Kommunen, die diese zur Abnahme großer Strommengen aus dem Verbund verpflichten.

Ein Ende der gesetzlich abgesicherten Verschwendung ist nicht in Sicht. Im Gegenteil, bleibt es bei den Plänen der Bundesregierung, droht eine weitere Zementierung der alten Strukturen. So versprach das Kabinett bei der anstehenden Überarbeitung des Energiegesetzes den Stromriesen nicht die verbindliche Einführung des „least-cost-planning“, sondern die Stärkung ihres „unternehmerischen Handlungsspielraums“, eine „spezielle Aufsicht“ sei „nicht mehr vordringlich“. Zudem plant Umweltminister Klaus Töpfer eine Novelle zum Atomgesetz, mit der die Genehmigung neuer Atomanlagen beschleunigt und die Einspruchsrechte der Bürger beschnitten werden sollen. Zugleich arbeitet auch die EG-Kommission an der Einführung einer Steuer auf CO₂-Ausstoß und Energieverbrauch, die Atomkraftwerken einen neuen Kostenvorteil verschaffen würde.

Doch derlei rückwärtsgewandte Politik, so glauben dennoch viele Energie-reformer, werde die grundsätzliche Wende hin zu „Negawatt“ und Energie-

effizienz allenfalls verzögern, aber nicht verhindern. Gemessen zum Beispiel an modernen Gas-Turbinen mit Wärme-Auskoppelung sei die „Technologie der zentralen Großkraftwerke einfach von gestern“, meint etwa der Energie-wissenschaftler Lutz Mez von der Leitstelle Umweltpolitik an der FU Berlin, „Der technische und ökonomische Trend arbeitet weltweit gegen die Atomenergie, diese Einsicht wird sich auch bei den deutschen EVU durchsetzen“.

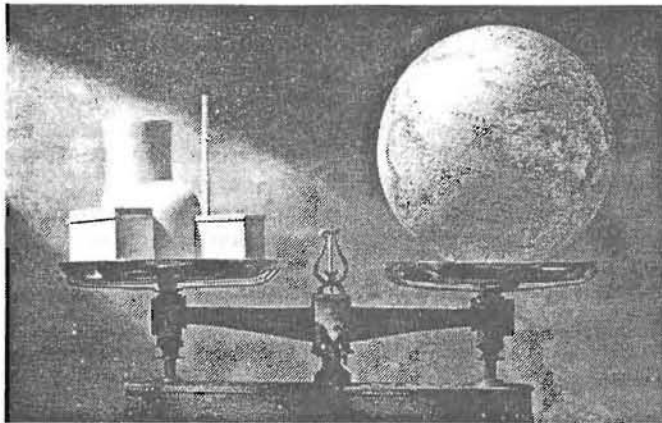
Erste Anzeichen hierfür meint auch Stefan Kohler ausmachen zu können, der vom Öko-Institut in die Leitung der jüngst gegründeten niedersächsischen Energie-Agentur wechselte, die immerhin zur Hälfte von der Veba, dem Mutterkonzern der Preußen-Elektra, finanziert wird. Das gleiche Unternehmen hatte dem Land Schleswig-Holstein einen 100-Millionen-Kredit für Energiesparmaßnahmen zur Verfügung gestellt. Kohler will seinem Arbeitgeber vorschlagen, statt eines vorgesehenen neuen Gaskraftwerks ein Negawatt-Programm der gleichen Größenordnung aufzulegen.

Vor diesem Hintergrund könnte am Ende auch das Ergebnis der von der Bundesregierung avisierten „Konsens-Kommission“ ganz anders ausfallen als erwartet. Zwar erhoffen Wirtschaftsminister Möllemann und mit ihm die Atombranche, mit Hilfe der Experten die „Akzeptanz der Kernenergie“ wiederherstellen zu können. Insbesondere die SPD soll zur Rücknahme ihres 1986 gefaßten Beschlusses zum Atom-Ausstieg gedrängt werden. Denn die Stromunternehmen scheuen das Risiko, sich während der Bauzeit für neue Atommeiler mit einer sozialdemokratisch geführten, atomkraftkritischen Bundesregierung anlegen zu müssen.

Doch ein einfaches Pro-Atom-Votum der Kommission ist mehr als unwahrscheinlich. Deren Leiter, der ehemalige SPD-Bundestagsabgeordnete Reinhard Ueberhorst, ist jedenfalls fest entschlossen, daraus „keine Farce“ werden zu lassen. Gerade weil die Runde nicht nur von den Parteien, sondern auch von der Industrie und den Umweltverbänden beschickt werden soll, hofft er auf eine wirklich offene Auseinandersetzung aller Beteiligten, die am politischen Tagesgeschäft vorbei nach gemeinsam getragenen Lösungen suchen. Setzt er sich damit durch, dann bekämen auch die Vertreter der Stromwirtschaft die Chance, einen der Leitsätze ihrer PR-Texter wirklich ernst zu nehmen: „Wissen“, so hieß es in den jüngsten Anzeigen der „Stromversorger“, „ist das beste Mittel gegen Vorurteile.“

HARALD SCHUHMAN

Strom aus Uran: Ein Gewinn für die Klimabilanz.



Seit 1970 ist der Energieverbrauch der Welt um mehr als 50 Prozent gewachsen. Und er nimmt weiter zu. Auch die wirksamsten Sparmaßnahmen in den Industrieländern können den ständig steigenden Bedarf der Dritten Welt nicht ausgleichen.

Diese Entwicklung droht unser Klima aus dem Gleichgewicht zu bringen. Denn gerade die wenig entwickelten Länder sind heute noch überwiegend auf Energieträger wie Holz, Kohle und Öl angewiesen. Bei ihrer Verbrennung entsteht das Treibhausgas CO₂.

Wenn wir das Klima stabilisieren wollen, dann müssen wir handeln. Die deutschen Stromversorger haben längst damit begonnen. Wir verbessern ständig den Wirkungsgrad unserer Kohlekraftwerke. Wir fördern die regenerativen Energiequellen wie Sonne, Wind und Wasser. Wir unterstützen den sparsamen Umgang mit Strom. Und wir decken sicher und preiswert einen großen Teil des Bedarfs mit Strom aus Uran. Diese Energiequelle setzt kein CO₂ frei. Sie ist ein Gewinn für die Klimabilanz unseres Planeten.

Ihre Stromversorger

Badenwerk Karlsruhe · Bayernwerk München · Elektromark Hagen · EVS Stuttgart · Isar-Amperwerke München · Neckarwerke Esslingen · PreussenElektra Hannover · RWE Energie Essen · TWS Stuttgart · VEW Dortmund

COUPON

Ich bin an ausführlichen Informationen zum Thema Kernenergie interessiert. Senden Sie mir bitte kostenlos das Buch „Kernenergie: Fragen und Antworten“ von Jürgen Seidel.
Info Service STROVA, Postfach 19 26 45 30, 5308 Rheinbach.

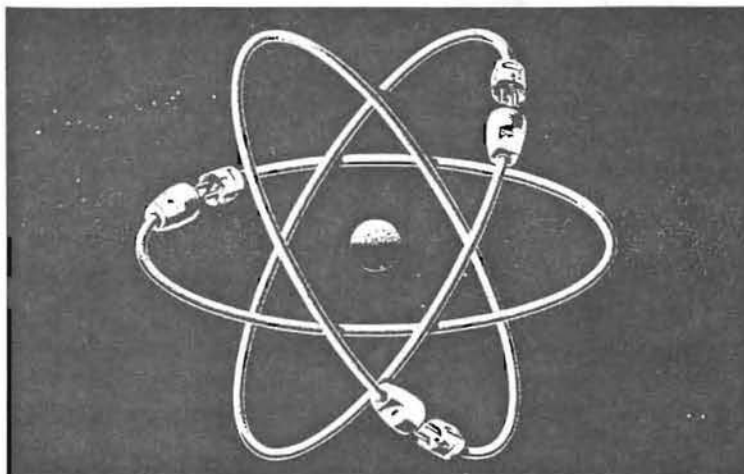
Name _____

Straße _____

PLZ/Ort _____



Kernenergie. Der Club of Rome denkt um.



Der Club of Rome, dem 100 unabhängige Mitglieder aus 53 Ländern angehören, hat mit seinem jüngsten Bericht seine Meinung über Strom aus Uran geändert und damit der weltweiten Energiediskussion neue Impulse gegeben. Wir zitieren den Schlüsselsatz aus dem Umweltkapitel des Dokuments:

„In einer ökologischen Krisensituation, in der die Notwendigkeit einer drastischen Reduktion der CO₂-Emission besteht und saubere Energiequellen nicht zur Verfügung stehen, kann die Kernenergie helfen, die Lücke zu schließen.“

Die veränderte Position des Club of Rome stützt das Konzept der deutschen Stromversorger. Unser Energie-Mix aus Kohle, Kernkraft, regenerativen Energien und natürlich Energiesparen stellt die Deckung des deutschen Bedarfs sicher und reduziert die Umweltbelastung auf das derzeit unvermeidliche Maß.

Hierfür leisten unsere Kernkraftwerke einen entscheidenden Beitrag: Sie ersparen uns jährlich 140 Millionen Tonnen Kohlendioxid. Allein schon deshalb können wir nicht auf sie verzichten.

Ihre Stromversorger

C O U P O N

Ich bin an ausführlichen Informationen zum Thema Kernenergie interessiert. Senden Sie mir bitte kostenlos das Buch „Kernenergie: Fragen und Antworten“ von Jürgen Seidel.

Info-Service STROM, Postfach 19 06 44 25, 5308 Rheinbach.

Name _____

Straße _____

PLZ/Ort _____

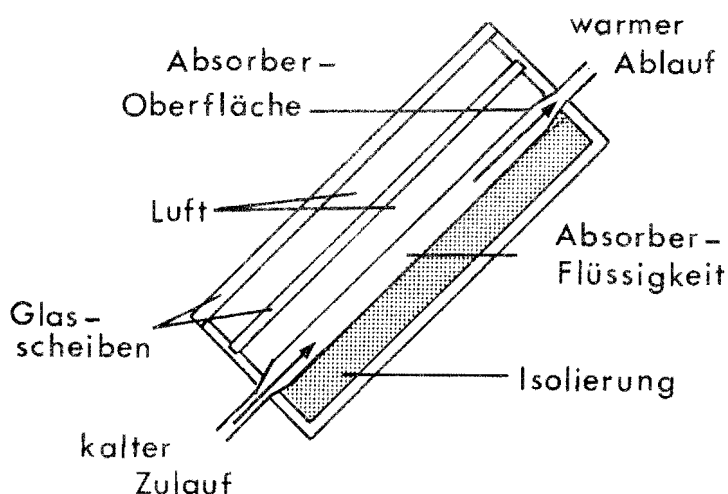


8.5 Regenerative Energien

8.5.1 Solartechnologie

o Sonnenkollektor¹²⁾

Unter den Geräten und Anlagen zur alternativen Wärmegewinnung nimmt der Sonnenkollektor eine Vorzugsstellung ein, weil er verhältnismäßig preiswert ist, sich gut zur Selbstmontage eignet, ein leicht verständliches Funktionsprinzip hat und auch bereits ziemlich weit verbreitet ist.



Schnittzeichnung eines Kollektors mit zwei Glasscheiben

Bei den meisten dieser Anlagen befinden sich unter ein bis drei gläsernen Abdeckscheiben flache schwarze Metallkästen oder Platinen als Absorber, die von einer Flüssigkeit durchströmt werden. Durch die Einstrahlung wird der Absorber und damit die Flüssigkeit in ihm erwärmt. Die Flüssigkeit (z.B. Wasser) gibt ihre Wärme an einen Wärmespeicher ab.

So unumstritten, wie man nach dem Vorangegangenen meinen könnte, ist die Sache mit den Sonnenkollektoren jedoch nicht. In Zeitschriften und Wissenschafts-Technik-Teilen der Tageszeitungen findet man z.B. einerseits positive Darstellungen der Sonnenkollektoren im Sinne von "Öleinsparung mit Sonnenkollektoren", "Reduzieren Sie Ihre Gas-Rechnung", andererseits Artikel mit Meinungen wie "Sonnenkollektoren sind veraltet", "Sonnenkollektoren liefern wenig Energie und sind dafür zu teuer", "Sonnenkollektoren auf den Dächern sehen häßlich aus" oder "Die Sonneneinstrahlung in der Bundesrepublik reicht für einen sinnvollen Betrieb der Kollektoren nicht aus".

Aufgabe: Was muß man wissen, um sich mit den obigen Behauptungen argumentativ auseinandersetzen zu können? Stelle bitte eine Liste der benötigten Fakten und Zusammenhänge auf.

12) Nach: K. Kreß u.a., a.a.O., S. 45f.

Die Wirkungsweise des Sonnenkollektors - durch die Sonneneinstrahlung entsteht unter einer Glasabdeckung Wärme - kennt eigentlich jeder aus der Alltagserfahrung:

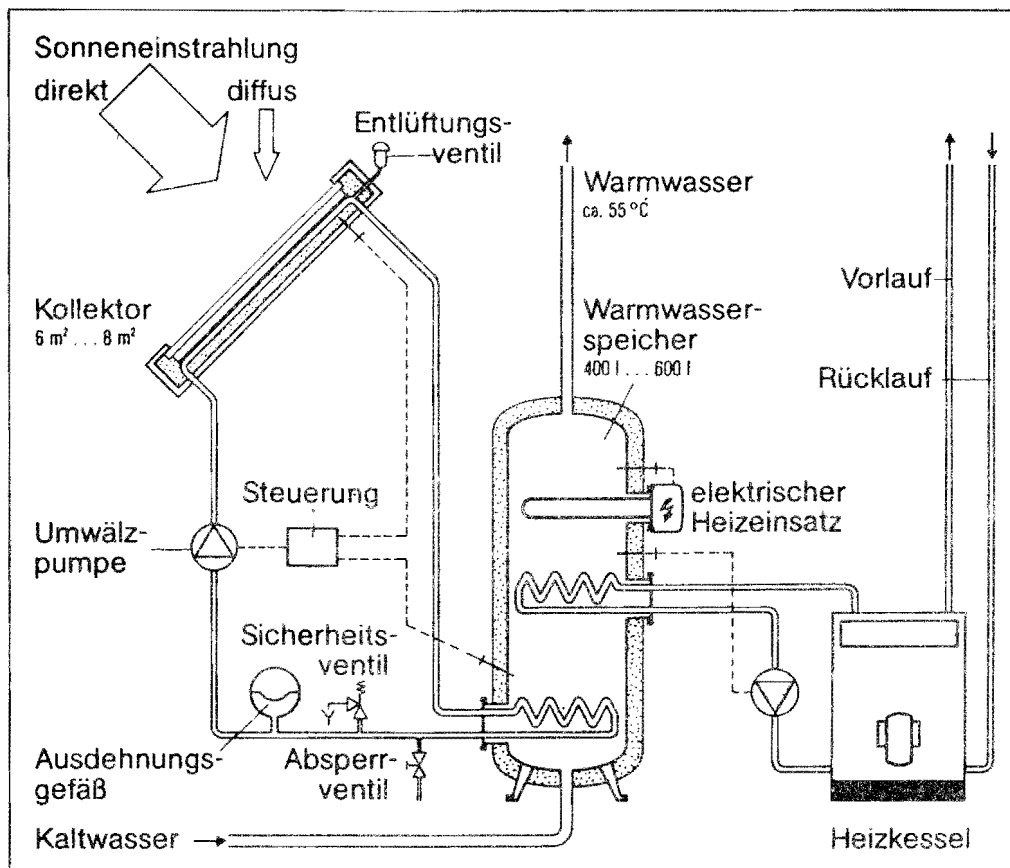
- Ein mit geschlossenen Fenstern in der Sonne stehendes Auto wird innen sehr warm.
- Zimmer mit größeren Fenstern an der Südseite eines Hauses sind schon bei etwas Sonnenschein deutlich wärmer als Zimmer an der Nordseite. Die Bewohner der Zimmer an der Südseite sitzen gewissermaßen im Innern eines Kollektors.
- Durch Verwendung von Glasdächern und Glaswänden bei Gewächshäusern erhält man innen höhere Temperaturen und damit bessere Wachstumsbedingungen als außerhalb. Man spricht daher vom "Treibhauseffekt".

Bei unseren Klima-Bedingungen genügt es allerdings nicht, überhaupt Wärme zu gewinnen, sondern es ist zu überlegen, wie man die vorgegebene Einstrahlung durch den Kollektor so nutzt, daß möglichst viel Wärme entsteht. Erste Hinweise für eine solche optimale Konstruktion von Kollektoren erhält man, wenn man die Einstrahlung im einzelnen untersucht.

Die Einstrahlung

Sie beginnt, wenn auf die äußere Abdeckscheibe des Kollektors Licht trifft. Dieses Licht enthält zwei Anteile. Es besteht einmal aus direktem Licht, das ohne Richtungsablenkung von der Sonne her parallel einstrahlt, und zum anderen aus diffusem Licht. Das diffuse Licht hat sehr verschiedene Einfallswinkel: es entsteht dadurch, daß das Sonnenlicht zunächst an Staub- und Nebenteilchen in der Atmosphäre abgelenkt wird und erst von dort zu uns gelangt.

Das auftreffende Sonnenlicht besteht hauptsächlich aus sichtbarem Licht (einem Gemisch aus violett, grün, gelb und rot) und infrarotem Licht (unsichtbares, bei einer Spektralzerlegung des Lichts jenseits des roten Bereichs gelegenes Licht). Für das infrarote Licht ist auch die Bezeichnung "Wärmestrahlung" gebräuchlich. Auch warme Luftschichten, Hauswände, Bäume und Straßen senden Wärmestrahlung aus. Ein Teil des auftreffenden infraroten Lichts kommt von diesen Quellen. Vom auftreffenden Licht geht das sichtbare Licht und der größere Teil des infraroten Lichts fast ungeschwächt durch die Glasscheibe. Das "langwellige" Infrarot wird nicht durchgelassen. Es wird am Glas teils reflektiert und teilweise wird es vom Glas absorbiert.

o Schema einer Anlage zur solaren Warmwasserbereitung mit Kollektoren¹³⁾

Die zumeist einfachen Flachkollektoren dienen fast ausschließlich der Warmwasserbereitung in über 20.000 Anlagen mit einem durchschnittlichen Gewinn an thermischer Nutzenergie von 200 kWh/m²a.

Eine Anlage zur solaren Wassererwärmung für einen Vier-Personen-Haushalt benötigt etwa 6 bis 8 m² Kollektorfläche, einen 400 bis 600 Liter fassenden Warmwasserspeicher und eine Zusatzheizung zur Nacherwärmung. In der Abbildung sind Aufbau und Funktionsweise einer solchen Anlage ersichtlich. Derartig nach Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten dimensionierte in Betrieb befindliche Anlagen zeigen, daß der für die Erwärmung nötige Energiebedarf übers Jahr gesehen etwa zu 50 % durch Sonnenenergie gedeckt wird.

Die Investitionskosten für eine solare Warmwasserbereitungsanlage betragen zwischen 1200 und 2500 DM pro Quadratmeter Kollektorfläche, wobei der Kollektoranteil 300 bis 700 DM/m² ausmacht.

Zur Raumheizung können Kollektoren unter den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas nur relativ bescheidene Beiträge leisten, da während der Heizperiode nur ein geringes Strahlungsenergieangebot zur Verfügung steht. Selbst bei der Ausstattung einer Fläche von 30 bis 40 % der zu beheizenden Wohnfläche mit hocheffizienten Kollektoren und einem Solarwärmespeicher von 1 m³ Wasserinhalt pro 10 m² Kollektorfläche müßten immer noch ca 70 % des jährlichen Heizwärmebedarfs durch eine Zusatzheizung gedeckt werden.

13) Nach: RWE Energie AG, a.a.O., S. 60f.

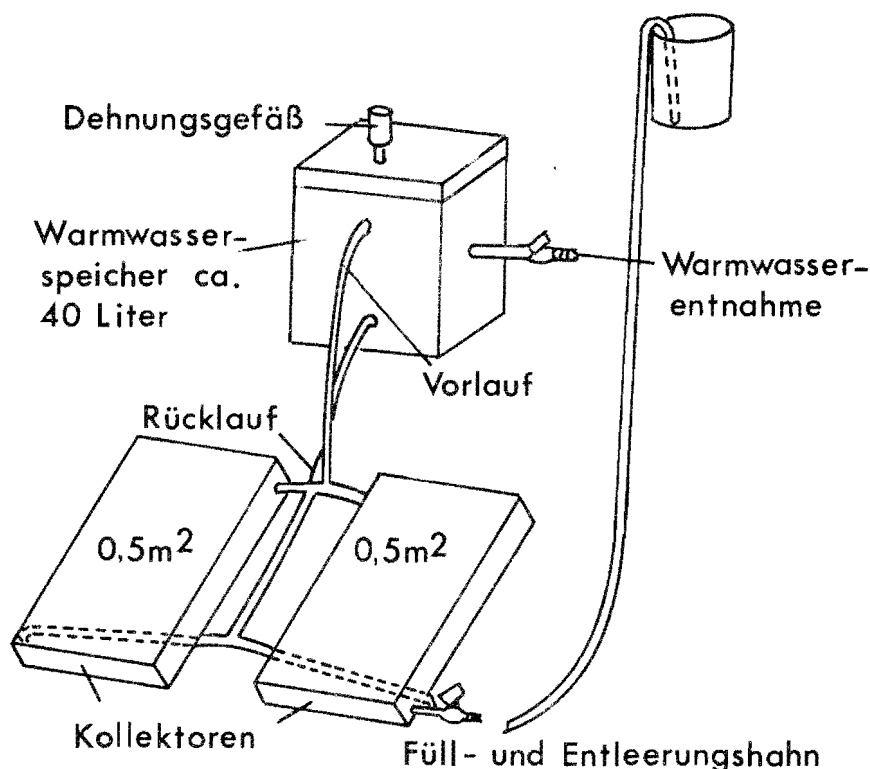
o Bau einer kleinen Solaranlage mit Schwerkraftzirkulation

Die Anlage, die etwa im Rahmen einer Projektwoche gebaut werden kann (dies geschah in den Jahrgangsstufen 9 und 10), ist geeignet für den Einsatz z.B. in einem **Wochenendhäuschen**, im **Schrebergarten** oder im **Campingbereich**. In diesen Einsatzbereichen ist warmes Wasser häufig nicht in so großer Menge und auch nicht unbedingt zwingend erforderlich, so daß eine kleine Solaranlage als eine erfreuliche Komfortsteigerung betrachtet werden kann. Bei schönem Wetter wird sie eine ganze Menge warmes Wasser produzieren, bei schlechtem Wetter wird ihr Vorrat bald erschöpft sein und man muß eben auf warmes Wasser verzichten. Eine kleine Anlage hat hier den Vorteil, daß sie nicht auf zusätzliche Stromversorgung angewiesen ist.

Beschreibung unserer Anlage

Bevor wir Einzelheiten über die Auslegung der Solaranlage darstellen, soll das Ergebnis unserer Überlegungen zusammengefaßt und beschrieben werden, wie die Kleinanlage schließlich aussehen wird. Das soll den Leserinnen und Lesern die späteren Ausführungen leichter verständlich machen.

Abbildung 1 zeigt eine Skizze der Solaranlage:



Die Anlage besteht aus zwei parallel geschalteten Kollektoren von je einem halben Quadratmeter Wirkungsfläche. Etwas oberhalb der Kollektoren befindet sich der Warmwasserspeicher, der einen Wärmetauscher enthält und ca. 40 l Wasser faßt. Der Höhenunterschied zwischen dem Kollektorausgang und dem Eintritt in den Warmwasserspeicher beträgt etwa einen Meter. Am oberen Ende des Wärmetauschers ist ein Steig-

rohr angeschlossen, das in einem kleinen Ausdehnungsgefäß endet. Einer der Kollektoren besitzt an seinem unteren Ende ein Ventil, über das die Wärmeträgerflüssigkeit eingefüllt bzw. abgelassen werden kann. Eingefüllt werden kann beispielsweise mit Hilfe eines Schlauches und eines hochgehängten Eimers, wie es in der Abbildung angedeutet wird.

Wenn man die Anlage nur in der warmen (frostfreien) Jahreszeit betreibt, eignet sich als Wärmeträgerflüssigkeit am besten Wasser. Soll sie auch frostsicher sein, so wird dem Wasser ein Frostschutzmittel beigemengt, z.B. Kühlerfrostschutz, wie er für Kraftfahrzeuge verwendet wird. Da wir durch den Wärmetauscher die Zirkulationsflüssigkeit vom Brauchwasser getrennt haben, besteht keine Verunreinigungsgefahr. Der Warmwasserbehälter ist mit einer mindestens 10 cm starken Isolierung vor allzu schneller Abkühlung geschützt. Auch die Vor- und Rücklaufleitungen wurden isoliert.

Die Kaltwasserzufuhr muß am unteren Ende des Behälters angeschlossen sein, weil sich in dem Behälter eine natürliche Temperaturschichtung des Wassers einstellt: Das wärmere Wasser befindet sich weiter oben, das kältere unten. Daher erfolgt auch die Warmwasserentnahme am oberen Rand des Wasserspiegels, damit immer die höchste im Behälter vorhandene Wassertemperatur genutzt werden kann. Ein Vorschlag, wie man dies am besten erreicht, wird später dargestellt.

Überlegungen zur Auslegung unserer Anlage

Wieviel Wärmeenergie kann man von der Sonne eigentlich gewinnen?

Wenn man sich im Weltraum, außerhalb der Erdatmosphäre befindet, liefert die Sonne bei senkrecht einfallender Strahlung auf eine Fläche von einem Quadratmeter einen Wärmestrom von 1.170 Kcal/h (Kilocalorien pro Stunde). Man nennt diese physikalische Größe auch die Solarkonstante.

Mit dieser stündlichen Wärmemenge von 1.170 Kcal könnte man auf der Erde in einer Stunde 1.170 Liter Wasser um 1 Grad erwärmen, oder 117 Liter um 10 Grad oder 39 Liter um 30 Grad.

Wenn unsere Anlage, die einen Quadratmeter Kollektorfläche hat, mit einem Wärmestrom von 1.170 Kcal/h, der vollen Solarkonstante, bestrahlt würde und obendrein keinerlei Verluste hätte, dann würde sie also die im Warmwasserspeicher vorhandenen 40 Liter innerhalb von einer Stunde um rund 30 Grad (beispielsweise von 15 Grad auf 45 Grad) erwärmen können.

Leider haben wir aber mehrere entscheidende Einbußen hinzuzunehmen:

1. Verlust von Wärmestrahlung beim Durchgang der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre (Wetter).
2. Wärmeverluste am technischen System, mit dem wir die Wärmestrahlung empfangen (unsere Solaranlage).
3. Einbußen durch den meist nicht senkrechten Einfall der Sonnenstrahlen auf die Kollektoren (Bewegungen der Sonne, Stillstand der Kollektoren).

Die eigentliche Saison für unsere Solaranlage beginnt im Februar/März und geht im Oktober/November zu Ende. In der Zeit von November bis Februar ist die Ausbeute sehr gering. Aber auch in diesem Zeitraum kann eine Solaranlage zumindest zeitweise

die Vorwärmung des Wassers liefern, aber nur an ganz wenigen Tagen die Gesamtversorgung mit warmem Wasser sicherstellen.

Die Kollektoren

So klar das Prinzip des Flachkollektors ist, so unterschiedlich sind doch die verschiedenen Ausführungsarten, die man heute auf dem Markt findet. Die gebräuchlichste Form ist die, bei der in einem festen Gehäuse (meist aus Metall) ein sogenannter Absorber eingebaut ist, der aus Aluminium, Edelstahl, Kupfer oder gelegentlich auch aus Kunststoff besteht. Das Gehäuse wird auf der Innenseite gegen Wärmeverluste isoliert und auf der Sonnenseite in der Regel mit einer oder zwei Glasscheiben abgedeckt. Das Herzstück dieses Flachkollektors ist der Absorber. Er wird auf seiner Oberfläche so beschichtet, daß die Wärmestrahlung der Sonne möglichst gut aufgenommen, aber kaum zurückgestrahlt wird. Im einfachsten Fall genügt ein schwarzer Anstrich. Hochwertige Beschichtungen werden durch bestimmte metallurgische Verfahren hergestellt, man nennt sie selektive Beschichtungen. Sie sind im Selbstbau nicht zu realisieren. Der Absorber gibt dann die aufgenommene Wärme an die zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit ab. Alle anderen Teile des Flachkollektors sind als wärmeisolierende und witterungsfeste Umhüllung um den Absorber aufzufassen. In den zahlreichen heute bereits vorliegenden Selbstbauanleitungen wird das Gehäuse meist aus einem Holzkasten gefertigt, der dann witterungsfest überzogen werden muß, in der Regel durch einen Farb-anstrich. Die Verglasung mit Fensterglas oder möglicherweise auch Spezialglas (noch günstigere strahlungstechnische Eigenschaften als Fensterglas, aber teuer), kann einige Schwierigkeiten bereiten, weil Dichtigkeit hergestellt und Wärmeausdehnung des Glases berücksichtigt werden muß. Der Aufwand, ein solches Gehäuse witterungsfest zu bauen und eine lange Lebensdauer zu erreichen, ist erheblich. Als Absorber werden in selbstgebauten Kollektoren neben den im Handel erhältlichen fertigen Platinen bisweilen auch gewöhnliche Flachheizkörper aus Stahl verwendet. Alles in allem führen diese Bauweisen zu erheblichem handwerklichen Aufwand bei relativ hohen Kosten, hohem Gewicht und Unsicherheiten in der Lebensdauer.

Der von uns gewählte Kollektor ist wesentlich einfacher zu bauen, wesentlich preiswerter, sehr witterungsbeständig und zeigt recht gute Leistungen. Zur Abdeckung verwenden wir statt Glas eine spezielle Folie, mit der Bezeichnung Hostafon ET. Verglichen mit Fensterglas zeigt sie etwas günstigere thermische Eigenschaften. Ihre Witterungsbeständigkeit und UV-Stabilität ist zudem ausgezeichnet.

Da wir diese Folie zugleich als Gesamtumhüllung für den Kollektor benutzen, benötigen wir kein festes Gehäuse mehr. Das erspart viel Gewicht, aber auch Kosten und Aufwand. Stabilität bekommt unser Kollektor dadurch, daß wir den ohnehin erforderlichen Isoliermantel aus handelsüblichen Hartschaumplatten (Styropor) herstellen, der bei sinnvoller Wahl der Abmessungen ein ausreichend stabiles Gehäuse darstellt.

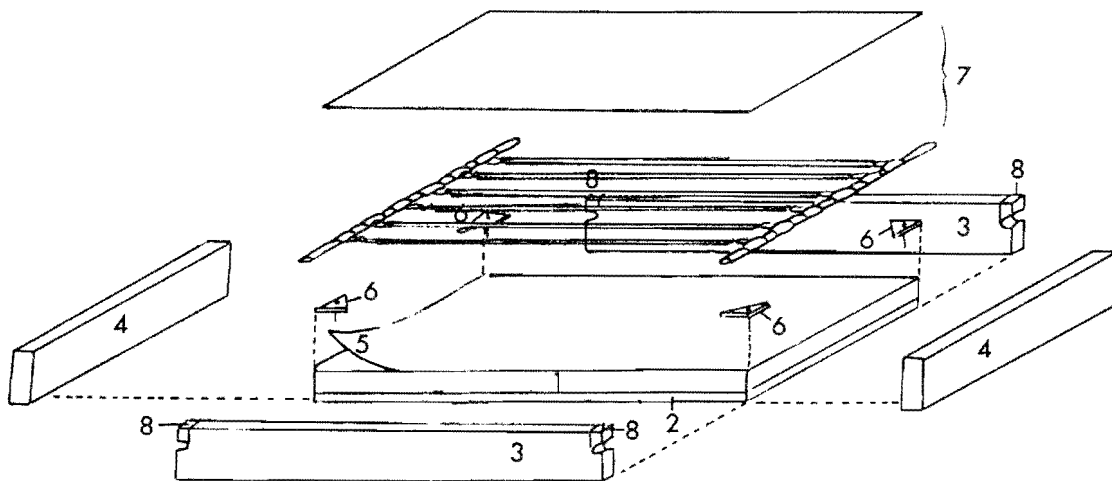
Der Absorber soll aus einem Material mit guter Wärmeleitfähigkeit und hoher Korrosionsbeständigkeit bestehen. Zugleich soll er in einem Schwerekräftsystem eingesetzt werden. Das bedeutet, daß er mit möglichst wenig Strömungsverlusten von der Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt werden soll. Die handelsüblichen Absorberplatinen haben meist sehr geringe Strömungsquerschnitte und eignen sich daher für Schwerekräftanlagen nicht. Geeigneter wären in diesem Fall Flachheizkörper. Wegen ihres hohen Gewichts können sie in unserem Styroporgehäuse allerdings nicht verkräftet werden. Wir haben unseren Absorber daher aus einem System von Kupferrohren zusammen-

gelötet, die durch dünnes, darauf gelötetes Kupferblech abgedeckt sind. Bei dieser Bauweise können wir sowohl die Anforderungen des Schwerkraftumlaufes optimal berücksichtigen, als auch die Gesamtabmessungen des Absorbers nach unseren eigenen Anforderungen bestimmen.

Damit sind die wesentlichen Überlegungen für die Konzeption unseres Kollektors vorgestellt worden und wir können uns die Bauweise des Kollektors noch einmal in Einzelheiten ansehen. Abbildung 2 zeigt nach Art einer Explosionszeichnung, wie der Kollektor zusammengesetzt ist.

Kollektorbauteile in der Reihenfolge ihres Zusammenbaus

- 1 Grundplatte Styropor 1000 x 500 x 50 (in mm)
- 2 Grundplatte Styropor 1000 x 500 x 20
(verklebt mit 1)
- 3 Seitenteile Styropor 1000 x 125 x 50
- 4 Seitenteile Styropor 600 x 125 x 50
- 5 Alufolie (Haushaltsfolie)
- 6 Auflagestücke Holze
(mit Nagel in Styroporplatte gesteckt)
- 7 Absorber (6 12-mm-Rohre an 2 18-mm-Sammelrohre mittels Lötfittings angeschlossen, darauf 0,2 mm Kupferblech gelötet)
- 8 Verschlussstücke Styropor (werden nach Einbau des Absorbers eingeklebt)



Das Gehäuse

Bei den Abmessungen des Gehäuses sind wir von der einfachen Bedingung ausgegangen, daß Styroporplatten im Handel in den Abmessungen 50 x 100 cm angeboten werden. Wir nehmen eine 5 cm und eine 2 cm dicke Platte, verkleben sie miteinander und benutzen sie als Bodenfläche. Um diese Bodenfläche herum werden 12,5 cm breite Randstreifen geklebt. Die Randstreifen werden aus einer weiteren 5 cm dicken Platte geschnitten. Man erhält sie, indem man die 50 cm breite Platte viermal teilt. Für das Zuschneiden von Styropor gibt es, wenn man hohe Präzision erzielen will, Heizdrahtgeräte: Ein sehr dünner, elektrisch aufgeheizter Draht zerschneidet Styropor, das bei genügend hoher Temperatur schmilzt. Solchen Aufwand muß man nicht unbedingt betreiben, man kann auch mit einem feinen Sägeblatt, z.B. Eisensägeblatt, einen ordentlichen Zuschnitt erreichen. Dazu ist nur ein wenig Übung erforderlich. Leichte Unsauberkeiten im Zuschnitt schaden im übrigen der Gesamtkonstruktion nicht, da beim Zusammenbau an keiner Stelle selbst zugeschnittene Flächen miteinander verklebt werden müssen. An den Stellen, an denen die 18 mm starken Sammelrohre des Absorbers nach außen treten müssen, werden entsprechende Aussparungen eingelassen. Diese Aussparungen stellt man am besten durch Einschmeißen mit einem heiß gemachten Rohr her. Dann besitzen sie an ihrer Oberfläche eine besondere Festigkeit. Später, wenn der Absorber eingesetzt worden ist, werden sie dann mit kleinen Styroporstücken wieder verklebt.

Zur Verbesserung der Wärmeisolierung und zum Schutz des Styropors bei eventueller Überhitzung des Absorbers - dies kann z.B. geschehen, wenn der Kollektor im Leerlauf der vollen Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist - bekleben wir den Boden des Gehäuses mit einer dünnen Aluminiumfolie (Haushaltsfolie). Als Kleber eignet sich hier Technicoll, das in wenigen dünnen Strichen aufgetragen wird. Für die Verklebung der Styroporteile ist unbedingt ein spezieller Styroporkontaktkleber erforderlich, z.B. Assil K. Das Kollektorgehäuse ist damit fertig.

Der Absorber

Es ist schon erwähnt worden, daß der Absorber aus einem Kupferrohrsystem besteht, auf das dünnes Kupferblech aufgelötet wurde, so daß eine geschlossene Fläche zur Aufnahme der Wärmestrahlung der Sonne entsteht. Um den Materialaufwand an Kupfer, das einen hochwertigen und teuren Rohstoff darstellt, gering zu halten, haben wir eine Optimierungsrechnung im folgenden Sinne durchgeführt: Durchmesser und Abstand der vertikalen Rohre sowie Blechstärke sollten so aufeinander abgestimmt sein, daß auch bei höchster Strahlungsintensität die einströmende Wärmemenge ohne lokale Überhitzungserscheinungen an die Rohre und damit an die Wärmeträgerflüssigkeit weitergeleitet werden kann. Das Ergebnis dieser Überlegungen war ein Rohrabstand von 8 cm, ein Rohrdurchmesser von 12 mm und eine Blechstärke von nur 0,2 mm.

Die 6 vertikalen 12 mm Rohre werden am oberen und unteren Ende in 18 mm starke Sammelrohre eingeleitet. Arbeitstechnisch besonders einfach ist es, an diesen Stellen Löt fittings zu verwenden. Preiswerter, aber handwerklich anspruchsvoller ist es, mit einem Sammelrohrdurchmesser von 22 mm zu arbeiten und in diese Rohre Bohrungen einzubringen, in die dann die 12 mm Rohre eingesteckt und verlötet werden. Auch diese Lötarbeit kann wie die Verlötung der Fittings mit Weichlot durchgeführt werden.

Unser Absorber hat im Hinblick auf eine mögliche Zusammenschaltung mehrerer Kollektoren zunächst 4 offene Anschlußenden. Bei der in der anfänglichen Beschreibung dargestellten Einsatzweise des Kollektors werden dann zwei diagonal gegenüberliegende Öffnungen verschlossen, während die anderen beiden als Vor- und Rücklaufanschluß dienen.

Das 0,2 mm starke Kupferblech, das möglichst weiches Blech sein soll (es gibt mehrere Härtegrade), wird in passender Form zugeschnitten und auf einen Stahlrost aufgelegt. Darauf wird das Rohrsystem ausgerichtet, mit geeigneten Gegenständen beschwert, so daß Blech und Rohre dicht aneinander anliegen, und anschließend mit der Lötflamme durchgehend verlötet werden.

Schließlich wird die später der Sonne zugewandte Blechfläche mit einem schwarzen Mattlack beschichtet.

Bevor wir den Absorber in das Gehäuse einlegen, heften wir an den vier Ecken kleine 3 mm starke Sperrholzstückchen an, damit der Absorber die Aluminiumfolie und das darunterliegende Styropor nicht unmittelbar belastet, weil sich die Rohre sonst im Überhitzungsfall in den Gehäuseboden hineinschmelzen könnten.

Die Folienabdeckung

Das Verschließen des Gehäuses mit der Spezialfolie (wir benutzen eine Folie von 0,06 mm Stärke) ist im wesentlichen ein Verpackungsvorgang, ähnlich dem Einwickeln einer Pralinenschachtel. Mit einer gewissen Erschwerung dadurch, daß die vier Sammelrohrenden durch die Folie durchgeführt werden müssen. Dazu kann die Folie an den festgelegten Stellen beispielsweise mit einem heißen Rohr durchstoßen werden. Eine präzise Abdichtung ist hier nicht unbedingt erforderlich, weil der Kollektor durch verbleibende undichte Stellen gewissenmaßen atmen kann, d.h. daß eingeschlossene feuchte Luft nur kurzfristig zur Kondensation, also zum Beschlagen der Folie auf der Innenseite, führen kann. Die Erfahrung hat gezeigt, daß diese Art der Verpackung eine Art Klimaausgleich herstellt, so daß bei einem einmal im Betrieb befindlichen Kollektor nur in extremen Fällen ein leichtes, vorübergehendes Beschlagen der Innenfolie beobachtet wurde.

Auch das eventuelle Eindringen von Feuchtigkeit bei Regen oder schmelzendem Schnee gefährdet das Kollektormaterial nicht, da das Styropor ähnlich witterungsbeständig ist, wie die umschließende Folie, die den sehr wichtigen Schutz vor ultravioletter Strahlung übernimmt.

Wie bei einem Geschenkpäckchen kleben wir auch in diesem Fall die Folie auf die Rückseite mit Hilfe von Klebeband zusammen. Sicherheitshalber sollte man alle Klebestreifen mit weißer Lackfarbe überstreichen, das macht sie auf lange Sicht hin widerstandsfähig. Eleganter wäre natürlich eine Verschweißung der Folie. Dies ist technisch möglich, erfordert aber einen zu hohen Aufwand und zuviel handwerkliches Können.

Der Warmwasserspeicher mit Wärmetauscher

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Abmessungen dieser beiden Bauteile.

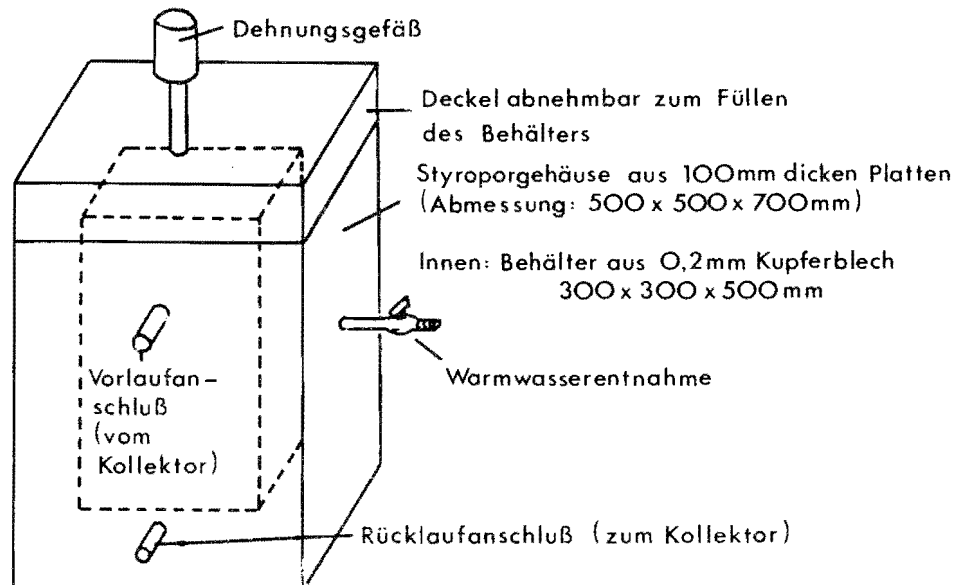


Abbildung 3: Warmwasserspeicher

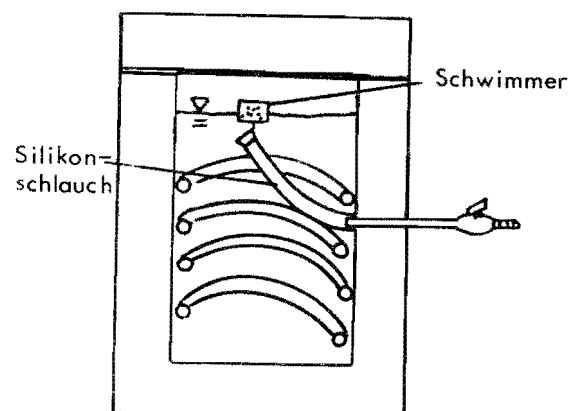


Abbildung 4: Wärmetauscher

Auch beim Bau des Warmwasserspeichers haben wir die günstigen Eigenschaften des Styropors genutzt: Wir haben wieder die Isolierung als Gehäuse ausgeführt, indem wir 10 cm starke Styroporplatten zugeschnitten und zusammengeklebt haben, und konnten dann für den eigentlichen Wasserbehälter das sehr dünne und daher relativ preiswerte Kupferblech verwenden. Es wurde also ein Kupferbehälter mit den Abmessungen 30 cm x 30 cm Grundfläche und 50 cm Höhe zusammengelötet. Natürlich könnte man auch andere Behältermaterialien verwenden. Wenn man das Wasser nicht als Trinkwasser benutzen will, könnte man beispielsweise preiswerte Plastikbehälter benutzen.

In den Kupferbehälter wurde nun der in Abbildung 4 gezeigte Wärmetauscher eingelassen. Die beiden Rohrdurchgänge am Boden und in der mittleren Wandhöhe, an die die Rücklauf- und Vorlaufschläuche angeschlossen werden, wurden dicht verlötet. An dem Rohrstutzen, der nach oben herausführt, wird später ein kleines Dehnungsgefäß angeschlossen. Wir benutzen dafür einfach eine Plastikflasche, deren Boden wir aufgeschnitten hatten, und befestigten sie umgekehrt mit einem Schlauchstück an dem Rohrstutzen. Die Flasche hatte ein Volumen von 1/4 Liter.

An der Konstruktion des Wärmetauschers ist wesentlich, daß die Rohrringe aus 18 mm Kupferrohr, welches weich und daher biegsam ist, insgesamt eine Wärmeübertragungsoberfläche von 2.000 qcm bieten, dies halten wir für eine geeignete Richtgröße bei einer Kollektorfläche von 1 qm, und daß darüber hinaus die 4 Windungen nicht hintereinandergeschaltet sind, wie das bei einer durchlaufenden Wendel der Fall wäre, sondern daß sie parallel geschaltet werden. Diese Maßnahme verringert den Strömungswiderstand des Wärmetauschers auf ungefähr 1/8 des Falles mit der durchlaufenden Wendel. Für eine ausreichende Zirkulation innerhalb der Solaranlage ist eine Parallelschaltung unbedingt erforderlich, andererseits müßte man zu wesentlich größeren Rohrdurchmessern greifen, was die Kosten der Anlage erhöht, aber auch ihre Trägheit.

Die einzelnen Elemente des Wärmetauschers wurden ebenfalls mit Löt fittings zusammen gelötet. Schwierig ist bei diesem Verfahren, daß die 18 mm Rohre sich während des Biegevorganges in ihrem Querschnitt verflachen zu einer elliptischen Form. Das Biegen der 4 Rohrwindungen erfolgt zunächst an einem Stück, beispielsweise unter Zuhilfenahme eines Blecheimers mit 25 cm Durchmesser. Anschließend wird die so hergestellte Wendel mit einer Eisensäge aufgeschnitten und die Schnittstellen, die jetzt einen elliptischen Querschnitt zeigen, werden mit einem geeigneten Werkzeug wieder in eine kreisrunde Form zurückgebildet. Dann kann man sie an die Fittings anschließen und verlöten.

Gefüllt haben wir unseren Behälter von oben her durch Zurseiteschieben des Deckels, dies könnte natürlich auch durch einen entsprechenden Wasseranschluß geschehen. Die Warmwasserentnahme kann man am besten in der Form gestalten, wie Abbildung 5 es zeigt.

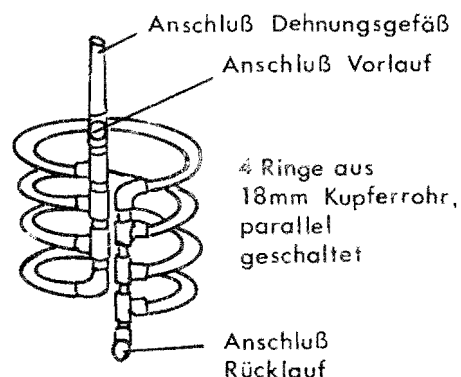


Abbildung 5: Längsschnitt durch den Warmwasserspeicher

Etwa in der Behältermitte, also ungefähr in der Höhe der oberen Wärmetauscherwindung, befindet sich ein Rohrstutzen, an dessen innerem Ende ein Stück Silikon-schlauch angebracht wurde, der über einen Schwimmer immer in unmittelbarer Nähe der Wasseroberfläche gehalten wird. Wir erinnern uns, daß in dem Behälter eine Temperaturschichtung besteht, so daß es vorteilhaft ist, das Wasser immer an der wärmsten Stelle zu entnehmen. Dies ist mittels der Schwimmerkonstruktion gewährleistet.

Natürlich kann man auch eine niveaugeregelte Kaltwasserzufuhr an diesen Behälter anschließen. Dies läßt sich beispielsweise durch die Ventilkonstruktion einer Toiletten-spülung verwirklichen. Zu achten ist dabei darauf, daß das kalte Wasser möglichst am Boden des Behälters eingeleitet wird.

Betrieb und Test der Anlage

Ganz wichtig ist beim Zusammenbau, daß alle Rohrleitungen eine gewisse Neigung haben, damit eingeschlossene Wasser- oder Dampfblasen nach oben zum Dehnungs-gefäß hin entweichen können. Eingeschlossene Blasen sind bei Schwerkraftsystemen massive Zirkulationshindernisse, sie können sogar die gesamte Zirkulation zum Stillstand bringen. Deshalb ist es auch wichtig, beim Auffüllen der Anlage mit Wasser oder Wasser-Frostschutzgemisch möglichst behutsam vorzugehen, damit der Flüssigkeits-spiegel nur langsam ansteigt und die zunächst in den Leitungen befindliche Luft voll-ständig entweichen kann. Danach ist die Solaranlage einsatzbereit. Außer einer ge-legendlichen Überprüfung des Wasserstandes im Dehnungsgefäß ist keinerlei Wartung mehr erforderlich.

Bei längeren Trockenperioden kann es, vor allen Dingen in Ballungsgebieten, zu er-heblichem Staubbiederschlag auf den Kollektorfolien kommen. Hier empfiehlt es sich, die Folie ab und zu mit Wasser und einem Lappen zu reinigen. Unserer Erfahrung nach ist bei gemischtem Wetter mit gelegentlichem Regen eine solche Reinigung nicht erfor-derlich.

Tests

Bei unseren Tests kam es uns in erster Linie darauf an, die Leistungsfähigkeit der ver-wendeten Folie mit handelsüblichem Fensterglas zu vergleichen. Der Test fand am 10. März auf dem Schulhof einer Wiesbadener Gesamtschule statt. Das Wetter war für diese Zwecke nicht gerade optimal: Der Himmel war leicht bewölkt mit gelegentlichen kurzen Aufheiterungen, die Lufttemperatur betrug ca. +5°.

Die beiden Kollektoren wurden nebeneinander aufgestellt, mit Wasser gefüllt und durch die Zufuhr genau kontrollierter kleiner Wassermengen im Durchlauferhitzerprinzip gete-stet. Die Ergebnisse der drei Versuche, die wir durchführten, sind in der nachstehen-nden Tabelle wiedergegeben. Die Wassereintrittstemperatur war bei jedem Versuch 7 Grad.

	Kollektor- abdeckung	Austritts- temperatur	Durchflußmenge	Leistung
a)	Glas	9,2 Grad	68,0 Liter/h	300 Kcal/hm ²
	Folie	12,0 Grad	43,2 Liter/h	432 Kcal/hm ²
b)	Glas	18,0 Grad	13,8 Liter/h	304 Kcal/hm ²
	Folie	17,0 Grad	18,0 Liter/h	360 Kcal/hm ²
c)	Glas	21,0 Grad	11,4 Liter/h	319 Kcal/hm ²
	Folie	18,0 Grad	16,8 Liter/h	370 Kcal/hm ²

Beispiel für die Berechnung der Leistung: $9,2^{\circ} - 7^{\circ} = 2,2^{\circ}$ Temperaturerhöhung, multipliziert mit der Durchflußmenge ergibt aufgerundet 150 Kcal/h bei einer Kollektorfläche von 0,5 qm.

Auf einen Quadratmeter bezogen also: 300 Kcal/h m².

Die Meßwerte machen deutlich, daß die Folienabdeckung erheblich günstiger war als die Glasabdeckung. Ob dies auch bei höheren Temperaturen gilt, konnte an demselben Tag bei den ungünstigen Witterungsbedingungen nicht getestet werden, dies erproben wir drei Tage später:

Das Wetter war heiter, mit leicht dunstigem Himmel, nur gelegentlich traten schwache Wolkenfelder auf. Die Temperatur betrug ebenfalls ca. +5°.

Es wurden zwei Versuche durchgeführt, deren Ergebnisse die folgende Tabelle zeigt:

	Kollektor- abdeckung	Wasser- temperatur Eintritt/Austritt		Durchflußmenge	Leistung
a)	Glas	11	36	3,8 Liter/h	192 Kcal/hm ²
	Folie	11	42	4,3 Liter/h	268 Kcal/hm ²
b)	Folie	12	51,5	4,1 Liter/h	322 Kcal/hm ²
	Folie	12	54,5	3,8 Liter/h	321 Kcal/hm ²

Versuch a zeigt, daß im mittleren Temperaturbereich, bei dem die Abstrahlungsverluste von Kollektoren erheblich zunehmen, die Folie eine noch deutlichere Überlegenheit beweist (40 % besser als Fensterglas). Angesichts der erheblich einfacheren Herstellung des Kollektors und der niedrigen Kosten ist das ein überzeugender Vorteil.

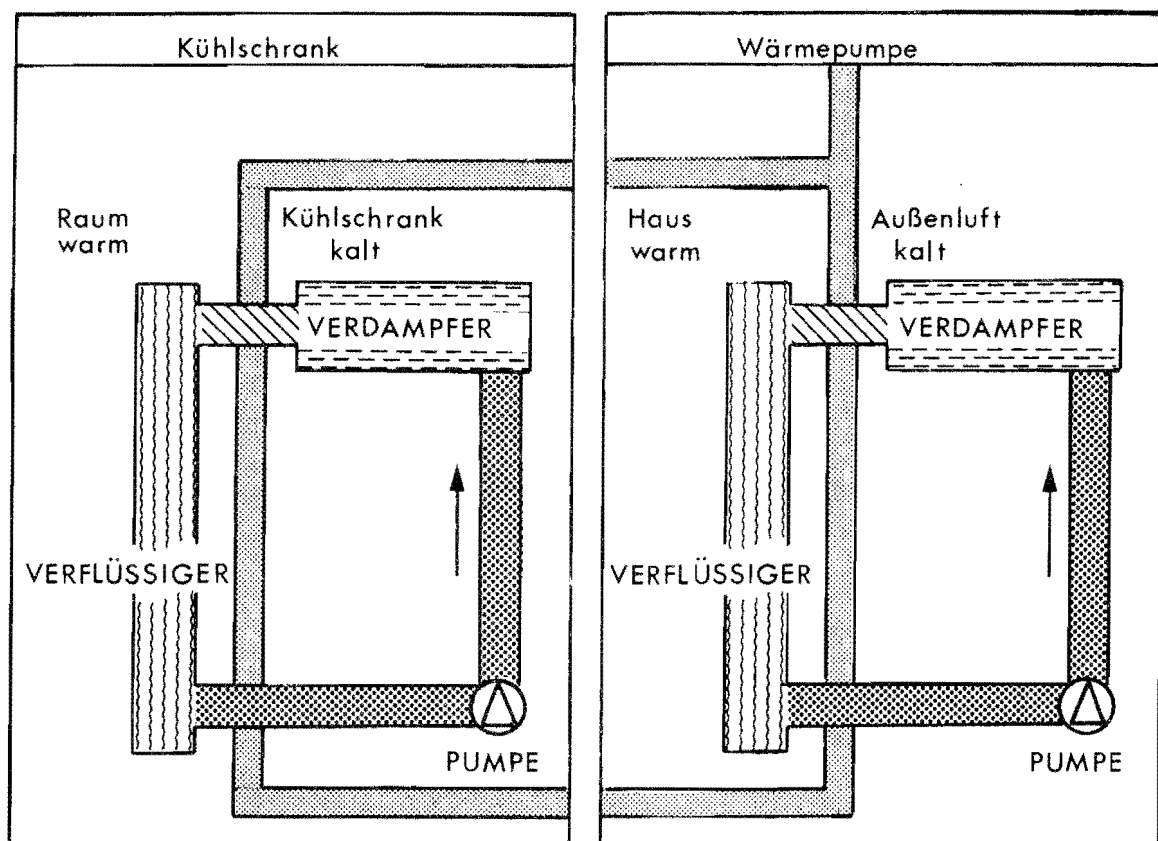
Um auszuschließen, daß dies ein Zufallsergebnis ist und womöglich andere Faktoren den Unterschied zwischen den beiden Kollektoren verursacht haben (z.B. hatten wir die Vermutung, daß der mit Glas abgedeckte Kollektor auf seinem Absorber eine etwas dickere Farbschicht trug), haben wir den Versuch b durchgeführt: Jetzt hatten beide Kollektoren die Folienabdeckung. Es zeigt sich, daß die Leistung beider Kollektoren jetzt gleich ist.

Der Unterschied in der Abdeckung war also eindeutig auch die Ursache für den Leistungsunterschied.

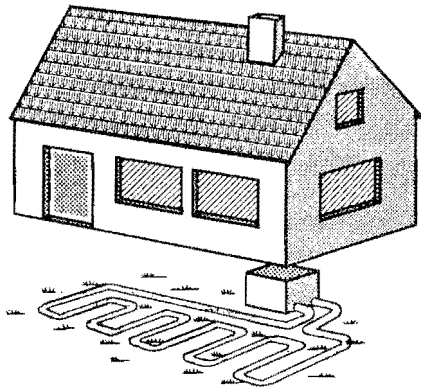
o Wärmepumpe¹⁴⁾

Die Wärmepumpe - ein umgedrehter Kühlschrank!

Das Prinzip der Wärmepumpe wird schon seit über 100 Jahren vielfach angewandt: im Kühlschrank. Hier läuft nämlich genau der gleiche Prozeß ab: Wärme wird im Innenraum des Kühlschranks von einer Transportflüssigkeit aufgenommen und in Rohrschlangen auf der Rückseite des Kühlschranks an die Umgebungsluft wieder abgegeben. Hält man die Hand hinter einen Kühlschrank, so spürt man das sofort. So wird es im Kühlschrank kälter und in der Umgebung wärmer. Dasselbe geschieht auch bei der Wärmepumpe: Wärme wird aus der Umgebung, das kann Luft, Wasser, Boden oder anderes sein, von der Transportflüssigkeit aufgenommen und in Rohrschlangen im Inneren des Hauses wieder abgegeben (nur eben normalerweise nicht an die Luft, sondern an das Heizungswasser, damit die Wärme auch das ganze Haus erreicht).



14) Nach: LSW (Hg.) 1989, S. 100f.

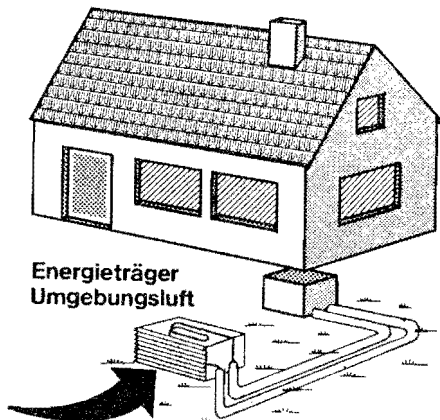
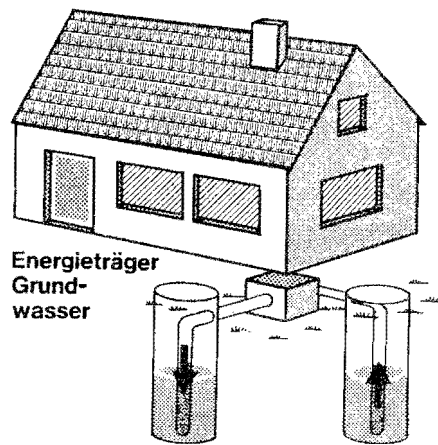


Wärmequelle Erdreich

In einer Tiefe von 1,50 bis 2,00 m und einem Abstand von ca. 0,75 m sind Kunststoff-Rohr-schlangen verlegt, die ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel enthalten. Diese Flüssigkeit nimmt einen Teil der Bodenwärme auf und führt sie dem Verdampfer der Wärmepumpe zu.

Wärmequelle Wasser

Oberflächen- oder Grundwasser wird über den Verdampfer einer Wärmepumpe geführt und abgekühlt. Bei Grundwasser müssen zwei Brunnen gebohrt werden. Einer, um das Grundwasser, dem Wärme entzogen werden soll, zu gewinnen, der andere, um das abgekühlte Wasser wieder dem Boden zuzuführen.



Wärmequelle Luft

Außenluft wird über einen Wärmetauscher (Verdampfer) geführt, der innen von dem Kältemittel einer Wärmepumpe durchströmt wird. Dabei entzieht es der Außenluft einen Teil ihrer Wärme und verdampft.

Die Arbeitsweise der Wärmepumpe

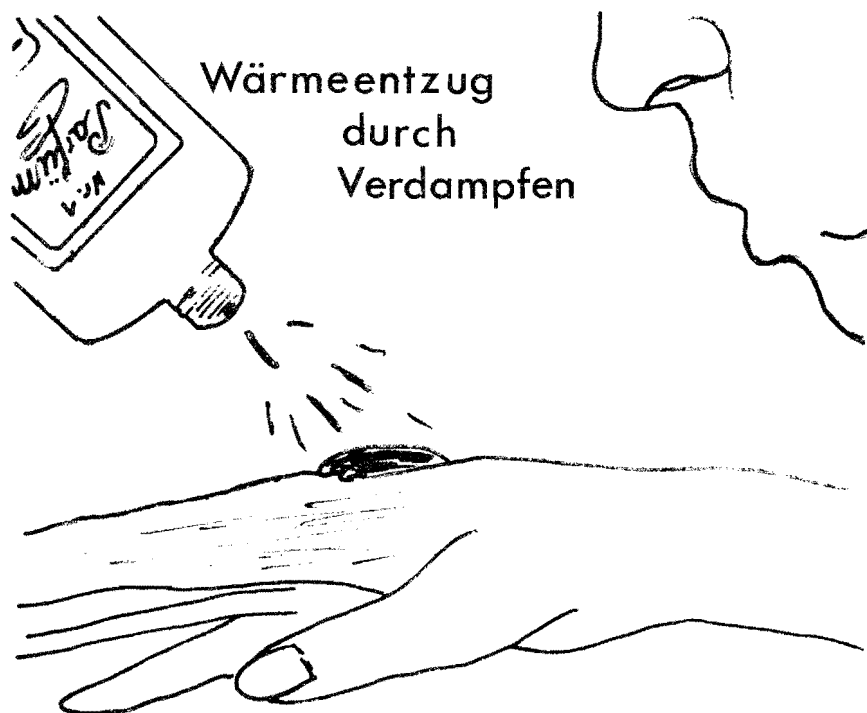
Die physikalischen Grundlagen aus der Alltagserfahrung

Bei der wichtigsten und am häufigsten eingesetzten Wärmepumpenart, der Kompressionswärmepumpe, wird ein Arbeitsmittel in einen Kreislauf geführt. Dabei durchläuft es nacheinander vier Teilprozesse. Es wird

- o verdampft
- o verdichtet
- o verflüssigt
- o entspannt.

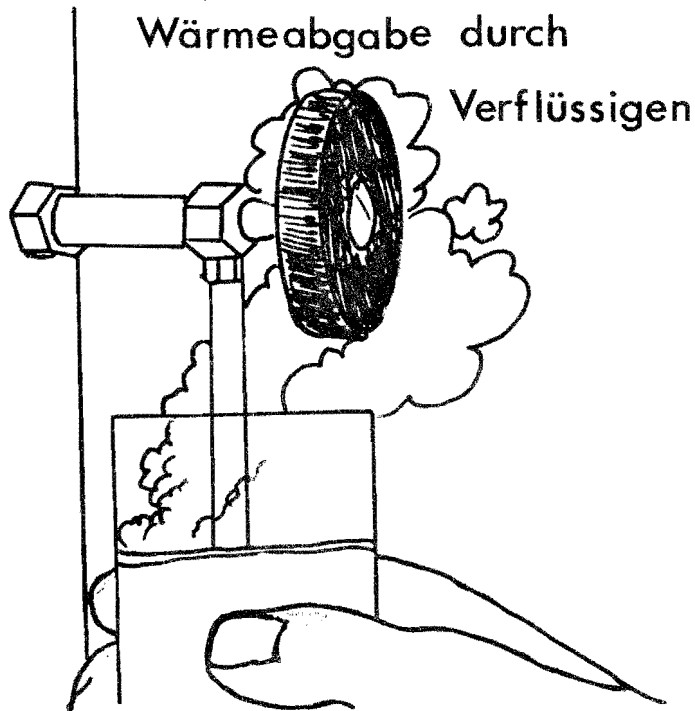
Zur Erläuterung dieses Kreisprozesses seien zuerst einige grundlegende physikalische Gesetzmäßigkeiten dargestellt: Einmal anhand von Alltagserfahrungen, zum anderen anhand einer Modellvorstellung.

Beobachtung 1: Bei warmen Wetter wird das Wohlbefinden auch mit nackter Haut nicht beeinträchtigt. Ist die Haut jedoch naß, zum Beispiel nach dem Verlassen eines Schwimmbades, so wird der Körper frieren, eine Gänsehaut wird sichtbar.



Erklärung: Die Wassertropfen auf der Haut verdunsten. Die dazu nötige Verdampfungswärme wird der Haut entzogen. Ebenso ist die kühlende Wirkung eines Parfümtropfens auf der Haut zu erklären.

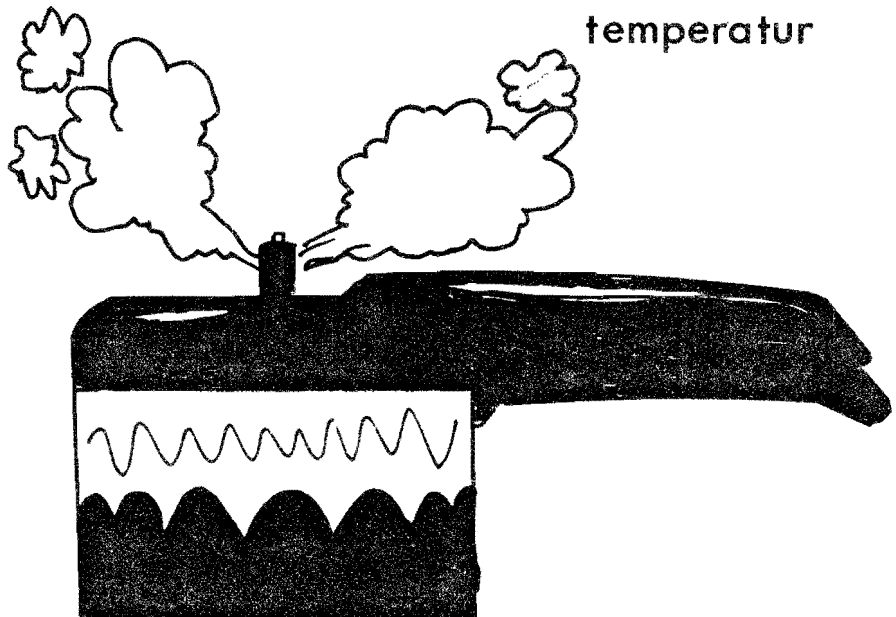
Beobachtung 2: Kalte Milch wird oft mit heißem Dampf aus einer Espressomaschine erhitzt. Die Flüssigkeitsmenge im Glas nimmt dabei nur geringfügig zu. Wird die gleiche geringe Menge nicht als Wasserdampf, sondern als kochendes Wasser zugegeben, so steigt die Temperatur nur wenig.



Erklärung: Der Energiegehalt von Wasserdampf mit einer Temperatur von $+100^{\circ}\text{C}$ ist viel größer als der einer gleichen Menge Wasser der gleichen Temperatur, da die für das Verdampfen aufgewendete Energie im Dampf mit enthalten ist. Wird der Dampf verflüssigt, so wird diese Energie als Wärme (Verflüssigungswärme) auf die Milch übertragen.

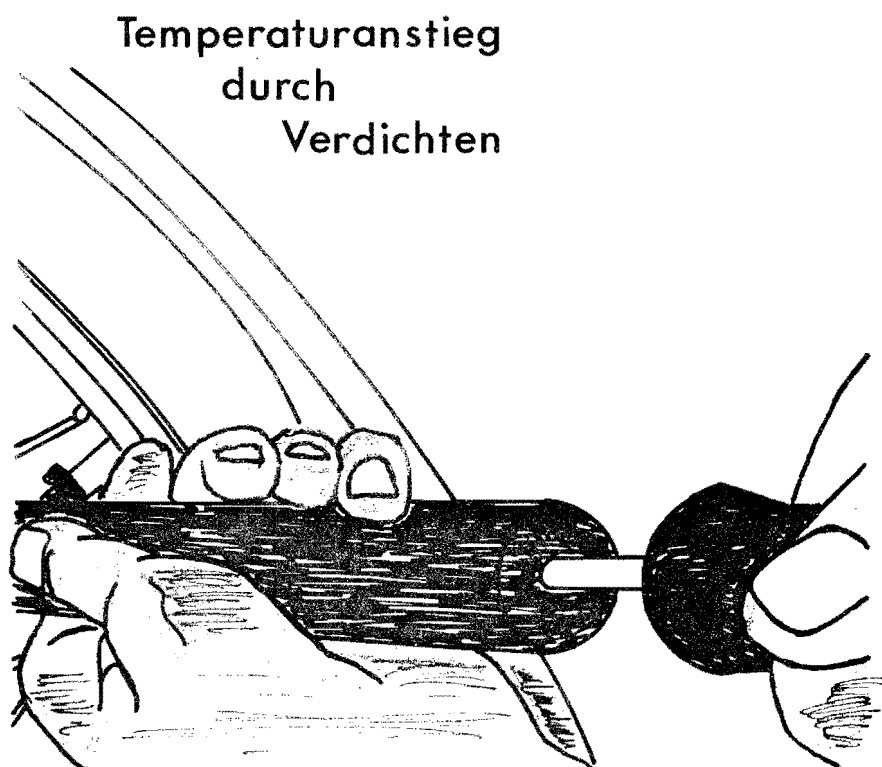
Beobachtung 3: In einem offenen Topf wird Wasser erwärmt. Bei einer Temperatur von $+100^{\circ}\text{C}$ beginnt das Wasser zu sieden und zu verdampfen. Die Temperatur steigt nicht weiter. In einem Schnellkochtopf, der fest geschlossen ist, stellt sich beim Erwärmen ein erhöhter Druck ein, der durch ein Ventil begrenzt wird. Das Wasser erreicht hier eine Temperatur von zum Beispiel $+112^{\circ}\text{C}$ ehe es zu sieden beginnt. Dadurch werden die Garzeiten der Speisen verkürzt.

Druckabhängigkeit der Siedetemperatur



Erklärung: Die Siedetemperatur (Kondensationstemperatur) einer Flüssigkeit ist vom Druck abhängig. Mit erhöhtem Druck steigt die Siedetemperatur an, mit vermindertem Druck sinkt sie. So siedet Wasser bei niedrigem Umgebungsdruck bei unter $+100^{\circ}\text{C}$. Auf der Spitze des Mont Blanc (4800 m) zum Beispiel siedet Wasser schon bei $+84^{\circ}\text{C}$. (Die Temperatur, bei der ein Stoff vollständig verdampft oder kondensiert (flüssig wird), heißt Siede- oder Kondensationstemperatur. Siede- und Kondensationstemperatur (auch Siede- und Kondensationspunkt genannt) sind gleich. Im folgenden wird von der Kondensationstemperatur gesprochen, wenn sich der Aggregatzustand von gasförmig nach flüssig ändert, von der Siedetemperatur wird bei der umgekehrten Zustandsänderung gesprochen.)

Beobachtung 4: Ein Fahrradreifen wird mit einer Handpumpe aufgepumpt. Dabei erwärmt sich das Pumpenrohr.



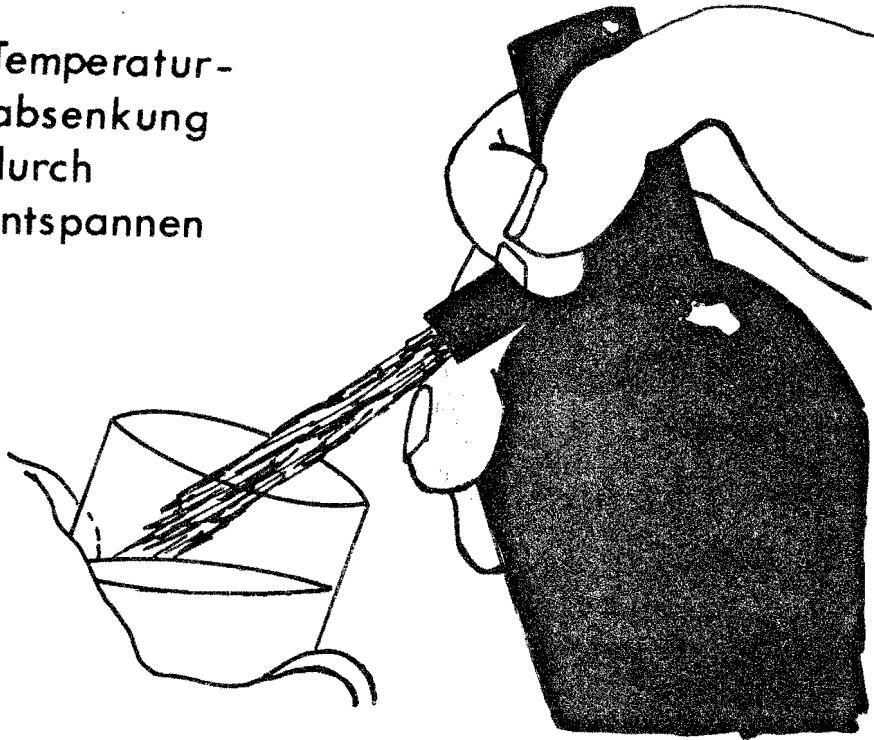
Erklärung: Durch Verdichten eines Gases wird die Temperatur erhöht. Umgekehrt führt Entspannen eines Gases zur Abkühlung.

Beobachtung 5: Aus einem Heimsyphon, der mit Patronen betrieben wird, in denen sich Kohlendioxid (CO_2) unter hohem Druck befindet, wird Sprudelwasser in ein Glas gegeben. Das Wasser ist kühl.

Erklärung: Beim Öffnen des Ventils strömt das Gas aus, wird dabei auf Umgebungsdruck entspannt und kühlt sich dadurch ab. In dem mit Gas gemischt austretenden Wasser läßt sich die Abkühlung spüren.

Verschiedene Stoffe haben unterschiedliche Siedetemperaturen (Kondensationstemperaturen) und Schmelztemperaturen (Gefriertemperaturen). Unter normalen Druck siedet Wasser bei $+100^{\circ}\text{C}$ und gefriert bei 0°C . Reiner Alkohol dagegen siedet schon bei $+78^{\circ}\text{C}$ und wird fest bei unter -100°C .

Temperatur- absenkung durch Entspannen



Beim "Flüssiggas" z.B. im Feuerzeug oder im Campinggaskocher handelt es sich um einen Stoff, der bei normalem Druck und normaler Temperatur gasförmig ist, durch Verdichten aber leicht verflüssigt werden kann. So gibt es auch Stoffe, die bei Temperaturen unter 0°C schon siedend sind. Durch erhöhten Druck wird ihre Siedetemperatur (Kondensationstemperatur) angehoben (Beobachtung 3). Diese Stoffe werden als Arbeitsmittel für den Kreislauf der Wärmepumpe verwendet.

Die physikalischen Grundlagen im Modell der kinetischen Wärmetheorie

Die innere Energie einer Stoffmenge ist abhängig

- o von der Art des Stoffes
- o von der Temperatur des Stoffes
- o vom Aggregatzustand des Stoffes (fest, flüssig, gasförmig).

Wird einem Stoff Energie in Form von Wärme oder Arbeit übertragen, so wird seine innere Energie erhöht. In der Molekülvorstellung bedeutet das: Durch Energieübertragung wird die Geschwindigkeit der sich ständig bewegendenden Moleküle in ihrem Stoffverband, zum Beispiel einer Flüssigkeit, vergrößert. Meßbar wird diese Zunahme der inneren Energie durch die Temperaturerhöhung.

Bei einer bestimmten Geschwindigkeit, die der Siedetemperatur entspricht, können die Moleküle den Flüssigkeitsverband verlassen, das heißt, sie können die zwischen den Molekülen wirkenden Anziehungskräfte überwinden. Die Flüssigkeit beginnt zu siedend und zu verdampfen. Die vom Siedebeginn an weiter als Wärme auf den Stoff übertragene Energie wird nicht mehr als Temperaturzunahme bemerkbar, sondern führt zur Veränderung des Aggregatzustandes. Die zugeführte Energie wird in Arbeit umgewan-

delt, die für den Übergang in den gasförmigen Zustand aufzuwenden ist. Ist alle Flüssigkeit verdampft, so führt eine weitere Energiezufuhr zum Temperaturanstieg im Gas.

Die beim Verdampfen aufgenommene Energie läßt sich als potentielle Energie der Moleküle im Gas beschreiben. Sie kann als Wärme wieder abgegeben werden, wenn sich die Moleküle aus dem Gas wieder zur Flüssigkeit zusammenfügen, wenn das Gas kondensiert.

o **Schlußfolgerung 1:**

Damit ein flüssiger Stoff siedet und verdampft, muß ihm Wärme übertragen werden. Die Temperatur bleibt dabei unverändert. (Vorausgesetzt wird, daß der Umgebungsdruck sich nicht ändert. Im Verdampfer bzw. Verflüssiger der Wärmepumpe wird das dadurch erreicht, daß der Dampf vom Verdichter aus dem Verdampfer ständig abgesaugt wird bzw. die Menge an verflüssigtem Dampf vom Verdichter in den Verflüssiger ständig nachgeliefert wird.)

o **Schlußfolgerung 2:**

Damit ein gasförmiger Stoff flüssig wird (kondensiert), muß ihm Wärme entzogen werden. Während der Verflüssigung bleibt die Temperatur konstant.

Die Geschwindigkeit der Moleküle, die erforderlich ist, damit sie den Verband der Flüssigkeit verlassen können, ist zum einen durch die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen des Stoffes bestimmt, zum anderen wird sie durch die Druckkräfte, die von außen auf die Flüssigkeit wirken, beeinflusst.

Da sich unterschiedliche Stoffe aus unterschiedlichen Molekülen zusammensetzen, deren Anziehungskräfte verschieden sind, ist die Siedetemperatur bei Normaldruck eine für den Stoff charakteristische Größe.

Bei geringem Druck auf eine Flüssigkeit wird eine geringe Molekülgeschwindigkeit - also eine niedrige Temperatur - ausreichen, um den Stoff siedet und verdampfen zu lassen. Ist der Druck groß, so ist eine größere Geschwindigkeit - das heißt eine höhere Temperatur - erforderlich, damit der Stoff siedet und verdampft.

o **Schlußfolgerung 3:**

Die Siedetemperatur eines Stoffes ist vom Umgebungsdruck abhängig. Die Siedetemperatur bei Normaldruck ist eine charakteristische Stoffgröße.

Eine Flüssigkeit, die unter Druck steht, wird bis kurz unter die Siedetemperatur erwärmt. Nun wird der Druck plötzlich gesenkt. Die Geschwindigkeit der Moleküle, die gerade noch nicht ausreichte, um die Anziehungskräfte und die Kräfte durch den äußeren Druck zu überwinden, genügt bei nur geringerem Druck, um die Moleküle aus der Flüssigkeit austreten zu lassen. Die erforderliche Arbeit für den Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand wird aus der inneren Energie der Flüssigkeit geschöpft, da aus der Umgebung nicht schnell genug Wärme übertragen werden kann, dadurch sinkt die Temperatur in der Flüssigkeit.

o **Schlußfolgerung 4:**

Wird eine Flüssigkeit nahe der Siedetemperatur plötzlich entspannt, so kühlt sie sich ab.

Eine Stoffmenge im gasförmigen Zustand sei von Wänden umschlossen. Von den sich schnell bewegenden Molekülen stößt immer ein Teil gegen die Umschließungsflächen und wird mit gleicher Geschwindigkeit reflektiert. Wird nun unter Aufwand äußerer Arbeit gegen den Druck des Gases das Volumen verringert, indem eine Wand nach innen bewegt wird, so werden die Moleküle mit größerer Geschwindigkeit zurückgestoßen. Vergleichbar ist das mit einem Tennisball, der einmal gegen einen fest eingespannten Schläger trifft (feste Wand), ein anderes Mal vom Schläger zurückgeschlagen wird (bewegte Wand). Die Erhöhung der Molekülgeschwindigkeit bedeutet eine Erhöhung der inneren Energie. Das Ergebnis ist ein Temperaturanstieg. Bei umgekehrter Bewegungsrichtung der Wand wird der entgegengesetzte Effekt, nämlich Abkühlung, erzielt.

o **Schlußfolgerung 5:**

Durch Verdichten wird die Temperatur eines Gases erhöht, durch Entspannen kühlt das Gas sich ab,

Wärmepumpen sind nur dann ökologisch sinnvoll, wenn sie Industrierwärme veredeln

Umgekehrter Kühlschrank

Anfang der achtziger Jahre waren Wärmepumpen ein begehrter Artikel. Ihre Hersteller erlebten einen regelrechten Boom. Doch in jüngerer Zeit ist der Markt für die Heizanlagen fast völlig zusammengebrochen. Während sich 1980 noch knapp 25 000 Anlagen verkaufen ließen, waren es zuletzt weniger als 1000 Stück pro Jahr.

Um den Absatz wiederanzukurbeln, finanziert das Bundesministerium für Forschung und Technologie seit drei Jahren ein Informationszentrum für Wärmepumpen beim Kernforschungszentrum Karlsruhe. Das Ministerium tat noch mehr: In der jüngsten Ausgabe seines *BMFT-Journals* preist es diese Technik für industrielle Zwecke und zum Heizen von Wohnhäusern an. Doch verbrauchen Wärmepumpen wirklich weniger Energie als die herkömmlichen Heizkessel? Und verringert ihr Einsatz die Emission von Schadstoffen?

Wärmepumpen nutzen Energie, die nichts kostet. Sie ziehen Wärme aus ihrer Umgebung, zum Beispiel aus dem Boden, dem Grundwasser oder aus der Luft, und treiben sie auf eine höhere Temperatur – ähnlich wie Kühlschränke oder Gefriertruhen, die ja die Küche aufheizen, während sie nach innen kühlen. Wärmepumpen liefern also nicht nur Wärme, sondern auch Kälte, die sich im Prinzip ebenfalls nutzen läßt. Im Rechenzentrum von IBM in Ehningen zum Beispiel kühlt eine Wärmepumpe die Computer; die den Rechnern entzogene und anschließend heißgepumpte Wärme beheizt die Büros.

Ein Kältemittel durchfließt Rohre, verdampft und nimmt dabei Wärme aus der Umgebung auf. Um die Rohre herum wird es infolgedessen kälter (diesen Effekt kennt jeder, der schon einmal Eau de Cologne verwendet hat: die Flüssigkeit verdunstet auf der Haut und entzieht ihr dabei Wärme). Der Dampf wird von einem mit Strom oder Gas betriebenen Kompressor verdichtet und dadurch erhitzt, gleichsam auf eine höhere Temperatur gepumpt. Nun wird er in den Verflüssiger geführt, dort kondensiert der Dampf und gibt Energie ab, die zum Heizen verwendet werden kann. Das wieder flüssige Kältemittel strömt durch ein Expansionsventil: Die Flüssigkeit entspannt sich darin und kühlt ab, um von neuem Wärme aus Boden, Wasser oder Luft aufzunehmen.

Bereits seit 55 Jahren beheizt eine Wärmepumpe das Zürcher Rathaus. Die Wärme liefert die Limmat, die unmittelbar am Gebäude vorbeifließt. Doch trotz einzelner guter Erfahrungen sind Wärmepumpen bis heute nur in wenigen Wohngebäuden installiert. Das hat seinen guten Grund: Für den Hausgebrauch sind ausschließlich elektrisch betriebene Wärmepumpen erhältlich, und die bieten keine ökologischen Vorteile. Zwar produzieren einzelne Apparate unter günstigen Bedingungen fast dreimal soviel Wärme, wie sie Strom verbrauchen, doch wird dieser Gewinn durch die unvermeidlichen Verluste bei der Stromproduktion wieder zunichte gemacht. In Kohlekraftwerken beispielsweise gehen ungefähr zwei Drittel der hineingesteckten Energie verloren. Moderne Heizkessel dagegen, die für Wärme im Gebäude sorgen, erreichen Nutzungsgrade bis zu neunzig Prozent. Elektrische Wärmepumpen sind ihnen daher weder in der Energie- noch in der Schadstoffbilanz überlegen, verursachen aber erheblich höhere Investitionskosten.

Die meisten der installierten Geräte holen sich die Wärme aus der Luft. Wenn es draußen kalt ist, funktionieren sie nur mit geringem Wirkungsgrad. Damit eine Wärmepumpe trotz bitterer Kälte das Haus beheizen kann, muß sie andere Quellen anzapfen – im Grundwasser und im Erdreich. Dort herrschen Temperaturen, die sich im Wechsel der Jahreszeiten nur wenig verändern. Um sie zu nutzen, sind jedoch aufwendige Installationen vonnöten; die Rohre müssen bis zu hundert Meter tief in den Boden gegraben werden.

„Mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen zu heizen ist schlicht Quatsch“, urteilt Rainer Schüle vom Freiburger Öko-Institut. Es sei Verschwendung, mit Strom, der hochwertigsten aller Energieformen, Heizwärme zu produzieren. Den damaligen Boom erklärt Schüle damit, daß die Energieversorgungsunternehmen die Werbeträger für Wärmepumpen kräftig gerührt hätten, um den Stromverbrauch anzukurbeln. Doch auch Umweltschützer propagierten einst diese Technik.

Der Verdichter einer Wärmepumpe könnte mit Gas anstatt mit Strom betrieben werden. Die Abwärme des Verbrennungsmotors kann dann zur Heizleistung beitragen. Eine solche Maschine hat freilich allerhand auszuhalten: Da sie viele Stunden im Jahr in Betrieb ist, muß sie mindestens zehnmal so lange laufen können wie ein Automotor, um ein Jahrzehnt zu überstehen. Die Firma Fichtel & Sachs entwickelte einen derartigen Motor. Er brummt in Pilotanlagen; die Geräte gingen bisher nicht in Serienproduktion, weil die Motoren zu teuer sind.

Fichtel & Sachs will die Neuentwicklung lieber für kleine Kraftwerke nutzen, die Strom erzeugen und mit ihrer Abwärme zugleich Häuserblöcke heizen. Der Vorteil solcher „Blockheizkraftwerke“: Die mechanische Energie aus dem Verbrennungsmotor wird in die hochwertige Energieform Strom umgewandelt; geheizt wird mit dem Abfall, nämlich mit der niederwertigen Abwärme.

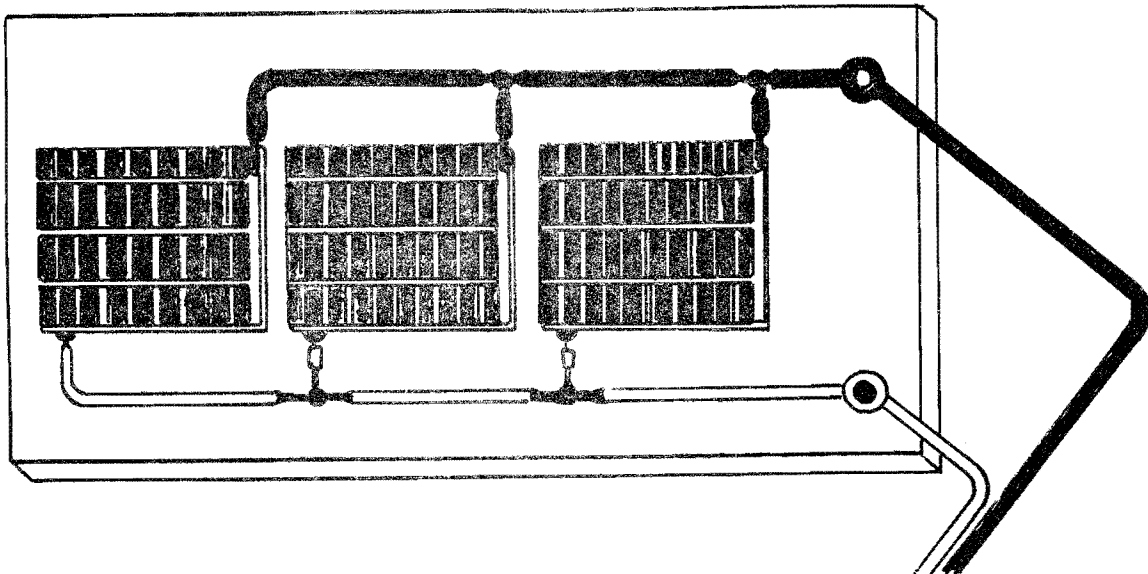
Auf absehbare Zeit werden Wärmepumpen nicht viel zur Heizung von Wohngebäuden beitragen – zumindest nicht in Deutschland. Lediglich in Ländern wie Norwegen, dessen Wasserkraftwerke auf umweltverträgliche Weise ausreichend Strom bereitstellen, können sich elektrisch betriebene Geräte lohnen.

In der Industrie hingegen machen sich Wärmepumpen nützlich, weil sie die konstante Abwärme aus vielerlei Anlagen veredeln können. Industrielle Abwärme ist im Winter nicht kälter als im Sommer. Das ganze Jahr über liegen daher gleichbleibende Betriebsbedingungen vor, auf die sich die Anlagen optimal abstimmen lassen. Sie erzielen Temperaturen bis 150 Grad – genug für die Verarbeitung etlicher Nahrungsmittel, das Trocknen von Holz und allerlei chemische Prozesse.

o Solarzellen¹⁵⁾

Die direkte Umwandlung von Sonnenstrahlung in elektrische Energie aufgrund des photovoltaischen Effekts ist seit mehr als 150 Jahren bekannt. Eine technische Nutzung dieses Effekts mit Hilfe von Solarzellen wurde allerdings erst 1954 durch die Entwicklung geeigneter Halbleitermaterialien möglich.

In einer flächig aufgebauten Halbleiterdiode setzt die anfallende Sonneneinstrahlung Bindungselektronen frei, die durch das elektrische Feld der Diodensperrschicht in der n-leitenden Schicht konzentriert werden. An den Anschlußkontakten einer Solarzelle entsteht auf diese Weise Elektronenüberschuß bzw. Elektronenmangel, d.h. es läßt sich eine elektrische Gleichspannung abgreifen. Diese Spannung beträgt bei einer Siliziumsolarzelle etwa 0,5 Volt. Eine 10 cm x 10 cm große Siliziumsolarzelle mit angepaßtem Lastwiderstand erreicht bei maximaler Sonneneinstrahlung eine Stromstärke von etwa 2 Ampere und eine Leistung von 1 Watt. Daraus errechnet sich ein Wirkungsgrad von rund 10 %.



Seit 1958 werden Solarzellen für die Stromversorgung von Satelliten und Weltraumsonden eingesetzt. Ausgelöst durch die Ölpreiskrisen in den siebziger Jahren, bemüht man sich heute, Solarzellen in größeren Leistungseinheiten auch für die Elektrizitätserzeugung auf der Erde zu nutzen. Wesentliche Voraussetzungen dafür ist eine weitere deutliche Verbilligung der Solarzellen. Bis Mitte der achtziger Jahre konnte der Preis der Zellen bereits um den Faktor 20 verringert werden. Weitere Preissenkungen erhofft man sich jetzt durch neue Produktionsverfahren zur Herstellung des Halbleitermaterials und der Zellen.

Abgesehen von Batterieersatz in Taschenrechnern, Armbanduhren und Spielzeugen gibt es bereits heute eine Reihe von Anwendungen, bei denen Solarzellen wirtschaftlich eingesetzt werden: Zum Beispiel bei Meßstationen, Signalanlagen und Kommunikationssystemen in Gebieten ohne elektrisches Versorgungsnetz sowie in sonnenreichen Entwicklungsländern zum Antrieb von Wasserpumpen und Kühlaggregaten. Sollte sich der Trend der Kostenreduzierung fortsetzen, würden die Anwendungspotentiale vielfältiger: Die Elektrizitätsversorgung abgelegener Häuser und Dörfer käme zunehmend in Betracht, ebenso wie der Parallelbetrieb von Solargeneratoren mit einem bestehenden leistungsfähigen Elektrizitätsversorgungsnetz.

¹⁵⁾ Nach: RWE Energie AG, a.a.O., S. 63.

8.5.2 In Almeria zeigt die Sonne, was sie kann¹⁶⁾

Früher reisten vor allem Kameraleute, Regisseure und Schauspieler in die Gegend um Tarbenas, etwa 20 Kilometer von der südspanischen Hafenstadt Almeria entfernt. Ihnen diente das wüstenähnliche Hochplateau mit seinen Gebirgshängen als Kulisse für Italo-Western. Mittlerweile bleiben die Filmleute aus, stattdessen kommen Ingenieure, Wissenschaftler und Energie-Experten. Ihr Interesse gilt aber weniger den alten Saloons und Galgenbäumen. Sie suchen vielmehr die Energiequelle der Zukunft. Ihr Ziel ist die in der Nähe der Westernstadt gelegene Plataforma Solar de Almeria (PSA), das europäische Testzentrum für Solarenergie.

Etwa 80 Beschäftigte arbeiten auf der Anlage, die gemeinsam von der spanischen Forschungseinrichtung CIEMAT und der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) getragen wird. Sie entstand Anfang der 80er Jahre, um die Möglichkeit der Stromerzeugung aus Sonnenenergie zu erforschen. Seitdem tüfteln die Forscher nicht nur an der Energie. Sie experimentieren auch damit, wie sich mit Sonnenkraft Chemie-Prozesse steuern lassen — oder welche Materialien Temperaturen von 2000 Grad aushalten.

Bei dem Stichwort Solarenergie denken viele an die kleinen Zellen, die etwa in Taschenrechnern oder Uhren eingebaut sind und das Licht direkt in elektrischen Strom umwandeln. Doch mit dieser Technik, Photovoltaik genannt, läßt sich bislang in großem Stil kaum kostengünstig Strom erzeugen. Eine Kilowattstunde „Sonnensaft“ kostet zwei bis drei Mark. Bei herkömmlicher Erzeugung liegt der Preis nach Angaben der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke zwischen 13 und 17 Pfennig.

Billiger wird der Sonnenstrom jedoch, wenn man statt auf die Photovoltaik auf die Solarthermie setzt, wie sie auf der Plataforma getestet wird. „Bei richtiger Einstrahlung und durch großtechnischen Einsatz lassen sich die Kosten auf 30 bis 40 Pfennig senken“, sagt Wilfried Grasse, Co-Direktor des Testzentrums. Eine DLR-Studie gibt dem Ingenieur recht. In Zukunft könnten danach sogar Solarkraftwerke entstehen, die Strom für 20 Pfennig produzieren.

Daß solche Erzeugerpreise keine Utopie sind, belegt ein Beispiel aus Kalifornien. Dort liefert ein Solarkraftwerk mit einer Leistung von 350 Megawatt Strom für das öffentliche Netz. „Die produzieren ihre Energie für umgerechnet 13 bis 14 Pfennig pro Kilowattstunde“, berichtet Rainer Aringhoff, Projektleiter bei der Kölner Firma Flachglas Solartechnik, die mit der kalifornischen Gesellschaft zusammengearbeitet hat.

Hauptmerkmal solarthermischer Kraftwerke sind zahlreiche Spiegel. Sie fangen das Sonnenlicht ein und erhitzen damit synthetisches Öl oder einen anderen Stoff. Das heiße Medium gibt seine Energie über einen Wärmetauscher an einen Wasserkreislauf ab. Dadurch wird Dampf erzeugt, der eine Turbine antreibt. Auf dem spanischen Versuchsgelände experimentieren die Forscher mit verschiedenen Kraftwerkstypen. Bei den „Turm-Anlagen“ gruppieren sich Spiegel um einen Turm. Sie bündeln das Sonnenlicht auf die Turmspitze und erhitzen dort Luft oder flüssiges Salz. Dabei können Temperaturen von 500 bis 2000 Grad entstehen. Mit dieser Wärme läßt sich nicht nur Strom erzeugen. Die Forscher in Almeria nutzen die hohen Temperaturen auch, um die Hitzebeständigkeit von Materialien zu testen. Außerdem haben sie eine Versuchsapparatur mit dem Namen Asterix (Advanced Steam Reforming of Methane in Heat Exchange) entwickelt, in der Synthesegas erzeugt wird. Solarenergie kann so für chemische Reaktionen in der Industrie eingesetzt werden.

Ein anderer Kraftwerkstyp ist die „Sonnenfarm“. Sie sieht aus wie eine Ansammlung von überdimensionierten Regenrinnen. Durch deren Mitte ziehen sich mit Synthetik-Öl gefüllte Rohre. Da die Rinnen von innen bespiegelt sind, konzentrieren sie das Sonnenlicht auf das Rohr; dadurch heizt sich das Öl auf. Die Dampf- und Stromgewinnung erfolgt dann wie bei den Turmanlagen. Eine solche Sonnenfarm arbeitet bereits in der Praxis — in Kalifornien.

In hiesigen Breiten lassen sich solarthermische Kraftwerke bislang nicht wirtschaftlich einsetzen, weil die Sonneneinstrahlung zu gering ist. Anders in den Mittelmeerländern. Dort hat die DLR in einer Studie für die „solarther-

16) Nach: Frankfurter Rundschau v. 02.02.1993, S. 6.

mische Elektrizitätserzeugung... ein außerordentlich großes Potential" ausgemacht. Bis zum Jahre 2025 könnten etwa entsprechende Kraftwerke 23000 Megawatt Solarstrom liefern, soviel wie 17 Atomkraftwerksblöcke von Typ Biblis. Die ersten Anlagen könnten innerhalb eines Jahrzehnts ans Netz gehen.

Dazu ist allerdings weitere Forschung nötig. So wollte die Flachglas Solartechnik zusammen mit der Firma Luz — das ist die Betreibergesellschaft der kalifornischen Sonnenfarm — in Almeria an der „Direktverdampfung“ experimentieren. Dabei wird der Dampf direkt in den Rohren erzeugt, Öl und Wärmetauscher fallen weg. „Die Kosten einer Anlage würden um 20 bis 25 Prozent sinken“, erklärt Rainer Arringhoff von Flachglas. Zwei je einen Kilometer lange Parabolrinnen sollten in Almeria entstehen, doch die schönen Pläne lösten sich in Luft auf. Luz mußte Konkurs anmelden, weil in den USA Steuerbegünstigungen wegfielen und daraufhin die privaten Investoren die Gelder sperren. Inzwischen arbeitet die kalifornische Sonnenfarm unter einer anderen Betreibergesellschaft weiter.

Nach dem Luz-Konkurs strich das Bundesforschungsministerium aber der Flachglas die für fünf Jahre in Aussicht gestellten Fördermittel von insgesamt 20 Millionen Mark. Dabei wären die geplanten Testrinnen in Almerias auch nach dem Luz-Konkurs möglich gewesen, meint Arringhoff: „Das technische Know-how für die Spiegel haben wir, und in der Bundesrepublik gibt es genug Firmen, die auch die entsprechende Rohrtechnik liefern können. Arringhoff verhandelt jetzt mit dem spanischen Energieversorger Endesa über mögliche Sonnenfarmen auf der Iberischen Halbinsel in der Nähe von Valencia und auf den Kanarischen Inseln. In Almeria will möglicherweise der Siemens-Konzern die Farmtechnologie weiterentwickeln, heißt es im Forschungsministerium. Nach Spanien dürften demnächst in Zukunft noch viele Sonnenforscher fahren.

ANDREAS HOFFMANN

8.5.3 Sonnenenergie und Ökonomie

Sonnenernte¹⁷⁾

Wer von Süden kommt, über den Highway 395, muß an eine Fata Morgana glauben: Mitten in der Wüste, bei 40 Grad im Schatten, funkelt in der endlosen Dürre ein silbrig grauer See. Erst aus der Nähe entpuppt sich die Erscheinung als ein schier endloses Spiegelkabinett. Gekrümmte Parabolspiegel, an Stahlgerüsten, zu Hunderttausenden, hektarweise: In Kramer Junction in der kalifornischen Mojave Wüste hat die Firma Luz International das größte Solarkraftwerk der Welt in den Wüstensand gesetzt.

Bisher versorgt das Kraftwerk „nur“ eine viertel Million Menschen mit Strom, doch Ende 1989 geht die erste von fünf neuen 80-Megawatt-Anlagen im benachbarten Harper Lake ans Netz. Ist die gesamte Spiegelfarm erst fertiggestellt, dann liefert Luz, so der Firmenchef Arnold Goldmann, etwa so viel Strom wie ein mittleres Kernkraftwerk.

Goldmann hat bisher fast eine Milliarde Dollar investiert und bezieht längst keine öffentlichen Subventionen mehr. Er zahlt seinen Geldgebern 13,5 Prozent Rendite und plant, auch in Nevada, Texas und Indien die Sonne anzuzapfen. Sein Erfolg basiert auf soliden Grundlagen: Die Technik seiner „solarthermischen“ Kraftwerke ist relativ simpel. Krummspiegel bündeln das Licht auf ein Rohr, in dem eine ölige Flüssigkeit zirkuliert. Diese heizt sich auf 450 Grad auf und läßt in einer zentralen Einheit Wasser verdampfen; der Dampf treibt eine herkömmliche Turbine mit Generator an. Außerdem scheint die Sonne in der Mojave Wüste 350 Tage im Jahr. Da bekommt Goldmann für seinen Solarstrom Spitzenpreise, weil er zu Spitzenlastzeiten produziert – nämlich dann, wenn in den kalifornischen Haushalten die Klimaanlage und Kühlschränke auf Hochtouren laufen.

„Also“, werden viele sagen, als hätten sie es schon immer gewußt, „ist die Solarenergie etwas für das sonnige Kalifornien, aber nichts für unser finsternes deutsches Hinterland.“

Weit gefehlt, denn zumindest die *Technik* zur Nutzung der Sonnenstrahlen ist hierzulande bereits beheimatet: Goldmanns Parabolspiegel werden allesamt

von der bundesdeutschen „Flachglas Solartechnik GmbH“ geliefert – die Firma plant im Moment, in Brasilien ein ähnliches 320 Megawatt-Kraftwerk zu bestücken.

Doch von systematischer *Unterstützung* der Solartechnik ist in der Bundesrepublik nichts zu entdecken. Bislang hapert es an der Forschungsförderung für die Solarenergie, klagt der Ingenieur Carl-Jochen Winter von der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart. Die bescheidenen Almosen von staatlicher Seite seien „reaktiv und zyklisch“, aber nicht, was sinnvoll wäre, „aktiv und antizyklisch“: Sie fließen nur in Zeiten einer Ölkrise oder nach einem Reaktorunfall etwas üppiger.

Dabei ist die Photovoltaik der raffinierteste Weg in die Energieversorgung der Zukunft. Im Unterschied zu Goldmanns solarthermischen Anlagen verwandeln dabei blau schimmernde oder rötlich schwarze Solarzellen Licht in einem Arbeitsgang laut- und abgaslos in Strom. An den Rohstoffen für die Photovoltaik herrscht auf der Erde kein

Energie, die vom Himmel fällt: Wenn ein Sonnenstrahl auf Solarzellen trifft, beginnt in ihnen Strom zu fließen.

Mangel. Sand für Siliziumzellen und Eisen für die Gestelle gibt es reichlich. Um aus Licht (griechisch: Phos) elektrische Spannung (gemessen in Volt)

zu erzeugen, kommt diese Technik ohne Wärmetauscher aus, ohne Turbinen, ohne bewegliche Verschleißteile, sie benötigt kaum Service und so gut wie kein Bedienungspersonal. Vereinfacht gesagt: Die Dinger stehen im Licht und hinten kommt der Strom raus – Wolken stören dabei nicht sonderlich.

Wichtig wäre es daher, die Markteinführung durch Pilotprojekte und durch gute – sprich anfangs subventionierte – Preise für Sonnenstrom zu erleichtern. Denn während die solarthermische Industrie sich längst selbst trägt, könnte die „photovoltaische“ Branche durchaus Starthilfe vertragen, um die Nachfrage und damit die Produktion anzuschieben. Die Mehrzahl der Produzenten stellt bisher mit Blick auf den vorhandenen Markt nur Solarzellen für Kleinstgeräte her, für Taschenrechner oder Armbanduhrer etwa oder zum Einbauen in entlegene Wetterstationen.

17) Nach: Greenpeace-Nachrichten IV 1989, S. 10f.

Zumindest technisch liebäugeln nicht nur hiesige Kleinfirmen mit der Sonne. Die Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke etwa, sonst eher als Kohle- und Atommulti verschrien, produziert zu Versuchszwecken seit Ende 1988 in einem kleinen Ort an der Mosel Solarstrom für 75 Haushalte. Asea-Brown-Boveri (ABB), der größte Elektrokonzern der Welt, rät in einem internen Strategiepapier, sich möglichst rasch bei Photovoltaik-Herstellern einzukaufen.

Die Siemens AG hat dies bereits getan: Der Multi überlegt, die Firma Arco Solar, den größten amerikanischen Hersteller von Solarpaneelen, für die Konzernmasse zu akquirieren. Doch ob die Erfahrungen der Amerikaner, die schon 1983 in Kalifornien ein 6,5 Megawatt-Versuchskraftwerk errichteten, bei Siemens in eine Serienproduktion münden, ist fraglich. Siemens sieht seinen Markt nämlich hauptsächlich dort, wo es keine Steckdose gibt: bei der Entwicklung von solarzellenbestückten Autodächern zum Beispiel, die Accessoires wie Ventilatoren und elektrische Fensterheber antreiben sollen.

Beim Energieversorger Bayernwerke fährt man zweispurig: Während der Stromkonzern noch 1989 der Siemens-tochter Kraftwerksunion einen Planungsauftrag zur Weiterentwicklung des derzeitigen Konvoi-Kernreaktors erteilt hat, beginnen die Bayernwerke zumindest mit dem Bau eines experimentellen „Solar-Wasserstoff-Kraftwerks“ im oberpfälzischen Neunburg vorm Wald. Mit Sonnenstrom sollen dort Wassermoleküle in ihre Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff gespalten werden. Dabei wird die Sonnenenergie quasi an den Wasserstoff „gebunden“. Wo immer sie benötigt wird, muß der Wasserstoff zu Wasser zurückgewandelt werden – die gespeicherte Energie wird dann wieder frei.

Von dieser „Spaltungstechnik“ versprechen sich Solarforscher die große Zukunft. Denn obgleich die Sonne als Energiequelle im Überfluß vorhanden ist, scheint sie im allgemeinen nicht dort am häufigsten, wo der Verbrauch am größten ist. Es fehlt also ein „Sekundär-energieträger“, ein Speichermedium, das die Energie an den Ort bringt, an dem sie gebraucht wird. Strom ist als Träger denkbar ungeeignet – wer ein Megawatt Sonnenenergie etwa aus der Sahara via Kabel nach Hamburg transportieren will, verliert unterwegs den Großteil der Energie und kann am Ende der Leitung gerade noch ein paar Glühlampen zum Glimmen bringen.

Wasserstoff hingegen läßt sich in Tankschiffen oder Pipelines wie Erdgas verschicken, verheizen, in Strom zurück-

verwandeln, in Turbinen oder gewöhnlichen Motoren verbrennen. Als Abgas entsteht dabei im wesentlichen der Ausgangsstoff der Wasserstoffproduktion – also Wasser. Ein geradezu genialer Kreislauf, der keine prinzipiell neuen Techniken verlangt. Ein Beispiel: Im Ruhrgebiet gibt es seit 1940 ein 220 Kilometer langes Röhrennetzwerk zur Wasserstoffverteilung, an das alle größeren Industriebetriebe angeschlossen sind.

Das Problem ist – wie so oft – der Preis. Und zwar nicht unbedingt der Sonnenenergiepreis, sondern der für die konkurrierende Kohle- und Kernkraft. Fachleute, der Schweizer Entwicklungsingenieur Hans Lüthi von ABB zum Beispiel, empfinden den gängigen Strompreis als „scheißbillig“ und damit als wichtigsten Hemmschuh bei der Einführung der Sonnenkraft. Wollten sich die Industrienationen mit Strom aus den Sonnengürteln der Erde versorgen, müßten nicht nur Solarzellenfabriken in der Größenordnung der heutigen Automobilhersteller entstehen, sondern auch riesige Areale genutzt werden. Carl-Jochen Winter von der DLR hat errechnet, daß es der Fläche Schleswig-Holsteins bedürfte, um in der Sahara etwas über die Hälfte des gesamten bundesdeutschen Energiebedarfs zu erwirtschaften.

Wüsten großflächig mit Solarzellen zuzupflastern, das klingt nach einer Großtechnologie, die allein durch ihre Dimension schwere Probleme mit sich bringt. Und nur wenn das Wasserstoff-Know-how im Zuge eines weltweiten, kostenlosen Technologietransfers auch den armen Wüstenländern selbst zur Verfügung steht, läßt sich die einseitige Ausbeutung der Drittwelt-Ressource Sonnenkraft durch die Industrienationen verhindern. Carl-Jochen Winter plädiert überdies dafür, zunächst die Hälfte des Energiebedarfs in den entwickelten Staaten durch intelligentere Systeme und freiwillige Beschränkung einzusparen, dann alle Formen der heimischen Sonnenenergie (von Wind- bis Wasserkraft) zu nutzen und nur den Restbedarf über den Solarwasserstoff mit seinen hohen Transportkosten zu decken.

Aber selbst wenn der Sonnenstrom teurer würde als die in CO₂-Schleudern erzeugte Energie – ein Argument gegen seine Einführung ist das nicht. Denn, so fanden die Meinungsforscher vom Ifas-Institut im Auftrag der Fernsehsendung *Report* 1989 heraus, über die Hälfte aller Bundesbürger würde erhöhte Preise für umweltfreundlichen Strom akzeptieren. Ein Zehntel der Bundesdeutschen ist sogar mit drastischen Steigerungen einverstanden.

Rainer Klingholz

8.5.4 Solarenergie als Entwicklungshilfe?! Die Sonne leuchtet manchmal auch nachts¹⁸⁾

Staudämme wachsen an den Flüssen, schwarze Arbeiter schlagen Schneisen in den Urwald, um mächtige Hochspannungsmasten aufzustellen. Der Bauer im Dorf schraubt in seiner Lehmhütte eine 40-Watt-Birne in die Fassung, bevor der Energieminister zum ersten Mal den Hebel umlegt: Es wird Licht im Dorf; aus dem neuen Radio dringt die Stimme des Staatspräsidenten. Bilder solchen Fortschrittsglaubens sind noch lebendig. Doch die Utopie der Elektrifizierung in Afrika, die Idee, Strom auch in die hinterste Ecke der jungen Nationalstaaten zu bringen, gehört der Vergangenheit an.

Wegen der unvermeidbaren Kosten ist heute keine Entwicklungsbank mehr bereit, Geld für konventionelle ländliche Elektrifizierung zu geben. „Noch in den 70er Jahren finanzierten viele Geber den Ausbau von Verbundnetzen und Zentren regionaler Stromerzeugung“, sagt Georg Schäfer, Leiter eines von der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) geförderten deutsch-senegalesischen Solarstromprojekts für ländliche Haushalte.

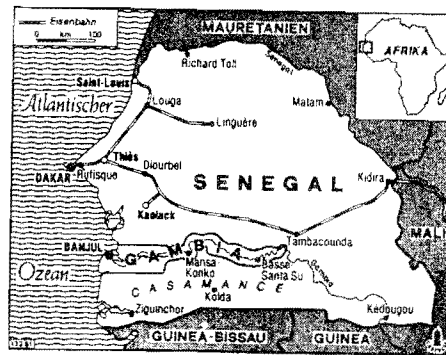
Doch die Probleme, auch mit bestehenden Anlagen, sind nach den Erkenntnissen einer Weltbank-Studie kaum mehr zu bewältigen: Die mittleren Investitionskosten von 1200 Mark pro Anschluß haben zu der bedrohlichen Verschuldung der Entwicklungsländer beigetragen, während der ländliche Stromverbrauch niedrig blieb, und die Einnahmen daher meist nur 15 bis 30 Prozent der Kosten decken, was wiederum zu einer schlechten Wartung der Anlagen führt. Die häufigen Stromausfälle kommen vor allem den wenigen produktiven Nutzern teuer zu stehen — durchschnittlich ein US-Dollar pro verlorener Kilowattstunde.

Auch die Photovoltaik, gibt Schäfer zu, löst bei weitem nicht alle Probleme ländlicher Stromversorgung in Afrika. Aber sie kann eine Grundversorgung sichern, wo andere Systeme — Verbundnetze, kleine Benzin- oder Dieselgeneratoren, Wind- und Biogasanlagen — technisch nicht realisierbar oder zu teuer sind. Und die Erfahrungen seines Projekts haben aufgezeigt, wo diese „saubere“ Energie in der sogenannten „Dritten Welt“ überhaupt einsetzbar ist und wo nicht.

Schäfer ist diplomierte Volkswirt, und in der Ökonomie liegt seiner Ansicht nach auch der Schlüssel zur praktischen Anwendung: Die Projektstudien sind weniger technische Abhandlungen als ausgeklügelte Kosten-Nutzen-Rechnungen, die zeigen, was sich die Landbevölkerung in Senegal mit 1500 Mark Haushaltseinkommen pro Jahr überhaupt leisten kann und wie die Aufwendungen für verschiedene Energie-Alternativen in die volks- und betriebswirtschaftlichen Kalkulationen eingehen.

Auf der Fahrt nach Fatick, 140 Kilometer östlich von Dakar, zeigt unser Begleiter zum Fenster hinaus: Von der Stromleitung, die parallel zur Straße verläuft, führen ein paar Drähte in den Busch: „Die Zweigleitung geht zu einem 20 Kilometer entfernten Dorf mit 50 Haushalten und hat über zwei Millionen Mark gekostet.“ Ein Beispiel für die ökonomische Unsinnigkeit herkömmlicher Elektrifizierung.

Eine Lehmstraße führt bald seitlich in die sumpfigen Steppen der Saloum-Meresarme, die hier weit ins Landesinnere reichen. Süßwasser liegt erst 30 Meter unter der Erde, von seiner Verfügbarkeit hängt aber die Existenz der Serer-Bauern und Viehzüchter der Region ab. Seit drei Jahren werden hier Solarpumpen zur Wasserförderung eingesetzt. Etwa 50 „Module“ — Anordnungen der Siliziumzellen, die das Sonnenlicht in Strom verwandeln — sind auf Betonsockeln mon-



tiert. Eine kleine Hütte schützt die relativ sensiblen elektronischen Steueranlagen der 2,2-Kilowatt-Pumpe, die den Wasserspeicher mit 75 Kubikmetern Fassungsvermögen füllt. Das reicht als Trinkwasser für 1300 Menschen und zur Tränke von nochmal so viel Rindern und Ziegen.

Der sinnvolle Einsatz der Solarmodule ist hier eine Kostenfrage: Bei einem Pumpbedarf von weniger als vier Kubikmetern pro Tag tut es auch eine einfache Handpumpe, bei über 40 Kubikmetern rentiert sich eine dieselgetriebene Anlage, doch im Bereich dazwischen, von vier bis 40 Kubikmetern, ist die Solarpumpe die eindeutig sparsamste Lösung. Jede Familie zahlt etwa 100 CFA-Franc (60 Pfennig) im Monat für die Wasserentnahme, und 75 Franc für jedes Tier — ein Betrag, den sich alle leisten können und der das nötige Kapital für Wartung und Ersatzteile liefert.

Vor allem den Frauen, zu deren traditionellen Aufgaben die Wasserbeschaffung zählt, bringt die Pumpe eine spürbare Entlastung, bestätigt Mbacke Senn, die

18) Nach: Frankfurter Rundschau v. 08.02.1993, S. 6.

das lokale Frauenkomitee leitet. Die begrenzte Leistung der Solarpumpe verhindert auch, daß zu viel auf einmal gepumpt wird und das Grundwasser versalzt. Die umweltschonenden Aspekte sind den Nutzern aber kaum bewußt: „Die Technologie ist den Leuten im Grunde egal, sie wollen vor allem Wasser haben“, relativiert Projektleiter Schäfer idyllische Vorstellungen vom Umweltbewußtsein auf dem afrikanischen Dorf.

Als sicher sinnvollstes Beispiel für den Einsatz von Solarenergie erwies sich in Senegal der ländliche Haushalt: Ein einzelnes 50-Watt-Modul liefert genug Strom für die Beleuchtung mehrerer Räume mittels Sparlampen (vier Leuchten vier Stunden pro Tag) sowie für ein Radiogerät oder einen kleinen Schwarzweißfernseher.

Für Elias N'gor Bass, den Ortsvorsteher von Faiou, der sich als einer der ersten im Dorf um 300 000 Franc (1800 Mark) — zu zahlen in fünf Jahresraten — zwei Solarmodule installieren ließ, zeitigt die Investition auch soziale Vorteile: „Es gehen nicht mehr so viele junge Leute von hier weg, seit wir Fernsehen haben. Und die Jungen, die auf Besuch kommen, bleiben jetzt länger, wenn sie ihr Radio oder einen Kassettenrecorder anstecken können.“ Auch die Kinder seien leichter zu beaufsichtigen, fügt er — in Unkenntnis moderner europäischer Pädagogik — hinzu, „und am Abend versammelt sich die ganze Familie um den Fernseher“.

Für seinen alten Benzgenerator fehlte N'gor Bass oft der Treibstoff. Die Versorgung mit Solarstrom verlief bisher ohne Panne. Die Batterie, die den tagsüber gewonnenen Strom speichert, muß nur alle drei Jahre erneuert werden. Trotz der hohen Anschaffungskosten möchten auch viele Nachbarn, die anfangs gezögert hatten, eine Solaranlage installieren.

Insgesamt 400 Familiensysteme stehen inzwischen in der Region Fatick und Kaolack, 1994 sollen es schon 1000 sein. Die Fragen der Beschaffung der technischen Komponenten, der Wartung und der fachgerechten Installation sind mit Hilfe dörflicher Genossenschaften und privaten Fachkräften gelöst. Die senegalesische Regierung wird demnächst auch die gleiche Zoll- und Steuerbefreiung wie für konventionelle Elektrifizierung ge-

währen. Ungelöst ist allerdings die Anfangsfinanzierung, da viele Haushalte die Investition nicht bar hinlegen können, das ländliche Kreditsystem in Senegal aber ausschließlich die unmittelbare Agrarproduktion fördert.

Weitere Beispiele eines sinnvollen Einsatzes sind kleine Krankenhäuser, Verwaltungszentren und auch eine touristische Anlage in Palmarin — wobei sinnvoll immer wirtschaftlich im Vergleich zu anderen Möglichkeiten der Stromversorgung heißt.

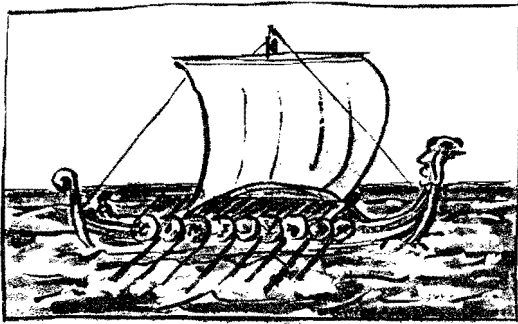
Problematischer erwies sich hingegen die Elektrifizierung eines ganzen Dorfes mit Hilfe der Solaranlagen: In Diaoule, einem Ort mit 1500 Einwohnern, hat man 1989 einen Modellversuch gestartet. Ein kleines Solarkraftwerk mit 560 Modulen kann neben der Basisversorgung der Haushalte auch Kühlschränke, Ventilatoren und Mühlen betreiben. Kann, denn das Angebot wird nur teilweise genutzt. Weniger als zehn Kühlschränke stehen bei lokalen Kleinhändlern. Die Erwartung, daß das Stromangebot auch Gewerbebetriebe anlockt, wurde nicht erfüllt. Die Kosten der Stromerzeugung und -verteilung werden ebensowenig wie bei konventioneller Stromversorgung gedeckt.

Die Grenzen des Einsatzes photovoltaischer Solartechnik im afrikanischen Busch liegen für den Projektleiter Georg Schäfer daher dort, wo im einzelnen Haushalt oder in kleinen Einrichtungen installierte Anlagen von einem geringen Basisbedarf ausgehen. „Wo es in den nächsten 10 bis 20 Jahren sicher keinen Anschluß an lokale oder überregionale Stromnetze gibt, leisten diese Individualanlagen einen wichtigen Beitrag zur ländlichen Lebensqualität in Afrika.“ In Senegal gilt dies für etwa 95 Prozent der Landbevölkerung.

Wenig Spielraum gibt es unter diesen Voraussetzungen allerdings für eine Ausweitung der Bedürfnisse: 0,2 Kilowattstunden am Tag verbraucht eine ländliche Familie in Senegal — ein Fünfzigstel des Konsums eines durchschnittlichen Haushalts in Mitteleuropa. Hier wird auch verständlich, warum es kaum möglich sein wird, daß alle sechs Milliarden Menschen der Erde den gleichen Energieverbrauch und Lebensstil wie im industrialisierten Norden entwickeln.

8.6 Windenergie

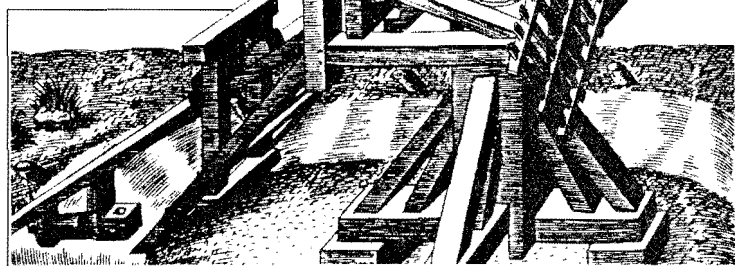
8.6.1 Die Nutzung der Windenergie ist jahrhundertealt¹⁹⁾



Bei Segelschiffen und Windmühlen geht nichts ohne Muskelkraft

Wir können auf jahrhundertealte Erfahrungen im Umgang mit der Windenergie zurückgreifen. So ersehen wir z.B. aus Darstellungen antiker Segelschiffe, daß sie oftmals mit Ruder ausgerüstet waren. Dieses Schiffsbauprinzip weist uns auf zwei "windtypische" Probleme hin: Der Wind bläst nicht immer in der gewünschten Richtung und manchmal sogar überhaupt nicht. Mit der Zeit gelang es zwar, geeignete Segel für nahezu alle Windrichtungen zu konstruieren, aber bei Windstille half bis zum Einsatz der Dampfmaschinen und Verbrennungsmotoren nur das Rudern.

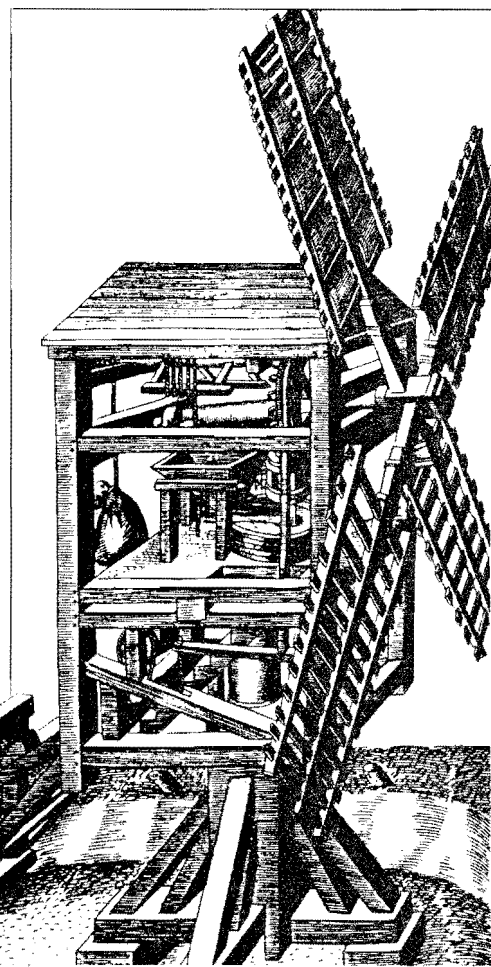
Windmühlen gelangten im 12. Jahrhundert über die Araber nach Mitteleuropa und dienten zum Antrieb von Mahlwerken, Wasserpumpen und sonstigen Maschinen. Die deutsche Bockwindmühle kennen wir seit dem 13. Jahrhundert. Sie stand auf einem Holzbock und konnte dadurch stets mit dem ganzen Mühlenhaus in den Wind gedreht werden. Das war bei stürmischen Winden natürlich eine sehr beschwerliche und instabile Angelegenheit. Deshalb erreichten die Bockwindmühlen niemals die Größe der späteren holländischen Windmühlen.



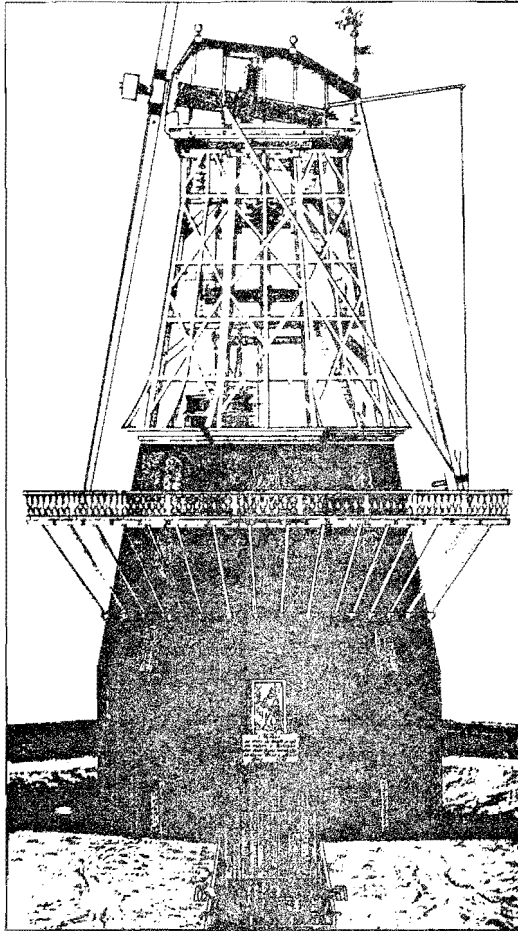
Bockwindmühle, 16. Jahrhundert

Holländische Windmühlen erleichterten dem Müller die Arbeit

Die holländischen Windmühlen kamen ab dem 17. Jahrhundert in Gebrauch und ihre vierflügeligen Windräder erreichten Durchmesser bis zu 30 m. Sie besaßen feststehende Mühlenhäuser und ein relativ kleines, drehbares Mühlenrad mit der Hauptwelle und dem Flügelrad. Somit mußte der Müller nicht mehr die gesamte Mühle, sondern nur noch das Mühlenrad in die Windrichtung führen. Diese Windmühlen spielten in Holland eine große Rolle bei der Landgewinnung, wobei sie als "Wassermühlen" zur Trockenlegung überfluteter Gebiete arbeiteten.



19) Nach: A.-M. Drechsler, a.a.O., S. 5f.



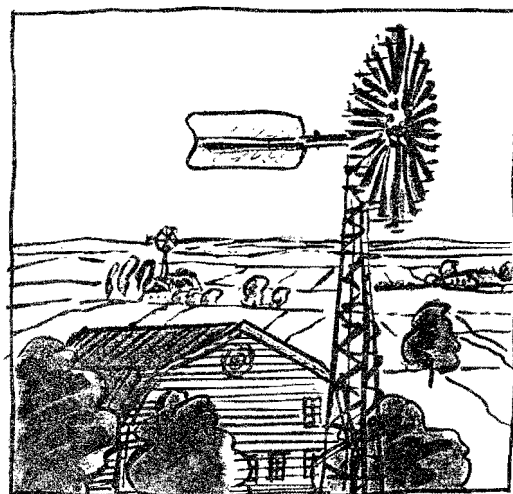
Holländische Windmühle, 17. Jahrhundert

Verbesserungen, wie verstellbare Flügel und verschiebbare Windklappen, machten es möglich, das Windrad unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten anzupassen. Als Fortschritt erwies sich um das Jahr 1750 auch die Einführung des Steuerwindrades. Es wurde senkrecht zum Hauptwindrad angebracht und sorgte dafür, daß das Hauptwindrad auch ohne Zutun des Müllers immer optimal im Wind stand. Derartig gebaute Windmühlen fanden im 18. und 19. Jahrhundert ihre größte Verbreitung. Noch zu Beginn des Ersten Weltkrieges gab es bei uns über 10 000 Windmühlen, von denen einige bereits mit einem Generator ausgerüstet waren.

Windturbinen gehörten in Nordamerika zu jeder Farm!

In der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts ging die Weiterentwicklung der Windmühlen und Windenergienutzung vor allem von den Vereinigten Staaten von Amerika aus. Damals prägte die amerikanische Windturbine, der sogenannte "Western-Rotor", das Bild praktisch jeder Farm in den USA. Zu den Hauptmerkmalen des Western-Rotors gehört sein vielblättriges, in Ausnahmefällen bis zu 100 Lamellen tragendes Flügelrad und das ausladende Steuerruder. Western-Rotoren treten schon bei kleinster Brise in Funktion und werden bis heute vor allem als Wasserpumpenantrieb eingesetzt.

Es mag erstaunlich klingen, aber Windkraftanlagen lieferten zuerst die elektrische Energie für weite Teile der ländlichen Gebiete Nordamerikas. Dabei handelte es sich meist um zwei- oder dreiflügelige Windgeneratoren mit einer elektrischen Leistung von 1,2 bis 3 Kilowatt (kW). Seit den 50er Jahren beschränkt sich das Angebot an Windturbinen in den USA allerdings vorwiegend auf Geräte mit geringerer Leistung. Sie eignen sich besonders für die Elektrizitätsversorgung abgelegener Wochenendhäuser. Für diesen Zweck wurden zwischen 1969 und 1970 immerhin über 100 000 Anlagen allein in den Vereinigten Staaten verkauft.

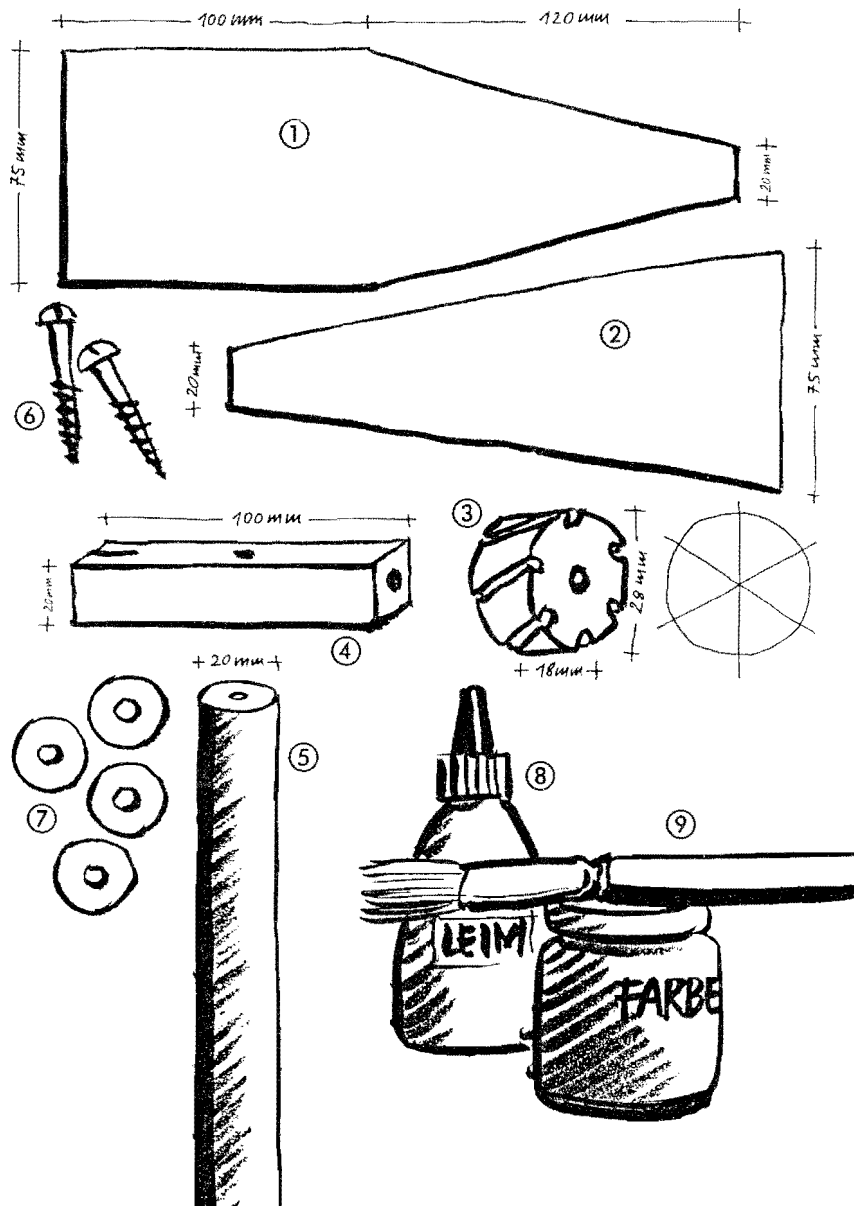


Western-Rotor

8.6.2 Bau eines Winrades²⁰⁾

Materialliste

1. Sechs Flügel aus 2 bis 2,5 mm starkem Holz - am besten von einer Obstkiste -, dessen Oberfläche wir bei Bedarf zuvor glattschleifen.
2. Eine Windfahne aus dem gleichen Holz wie die Flügel.
3. Eine Narbe aus einem Stück Rundholz.
4. Eine Achse aus einem Stück Vierkantholz.
5. Ein Holzpfosten bzw. Besenstiel.
6. Zwei Rundkopfschrauben (4 x 25 oder 4 x 30 mm).
7. Vier passende Unterlagscheiben.
8. Holzleim.
9. Wetterfeste Farbe.

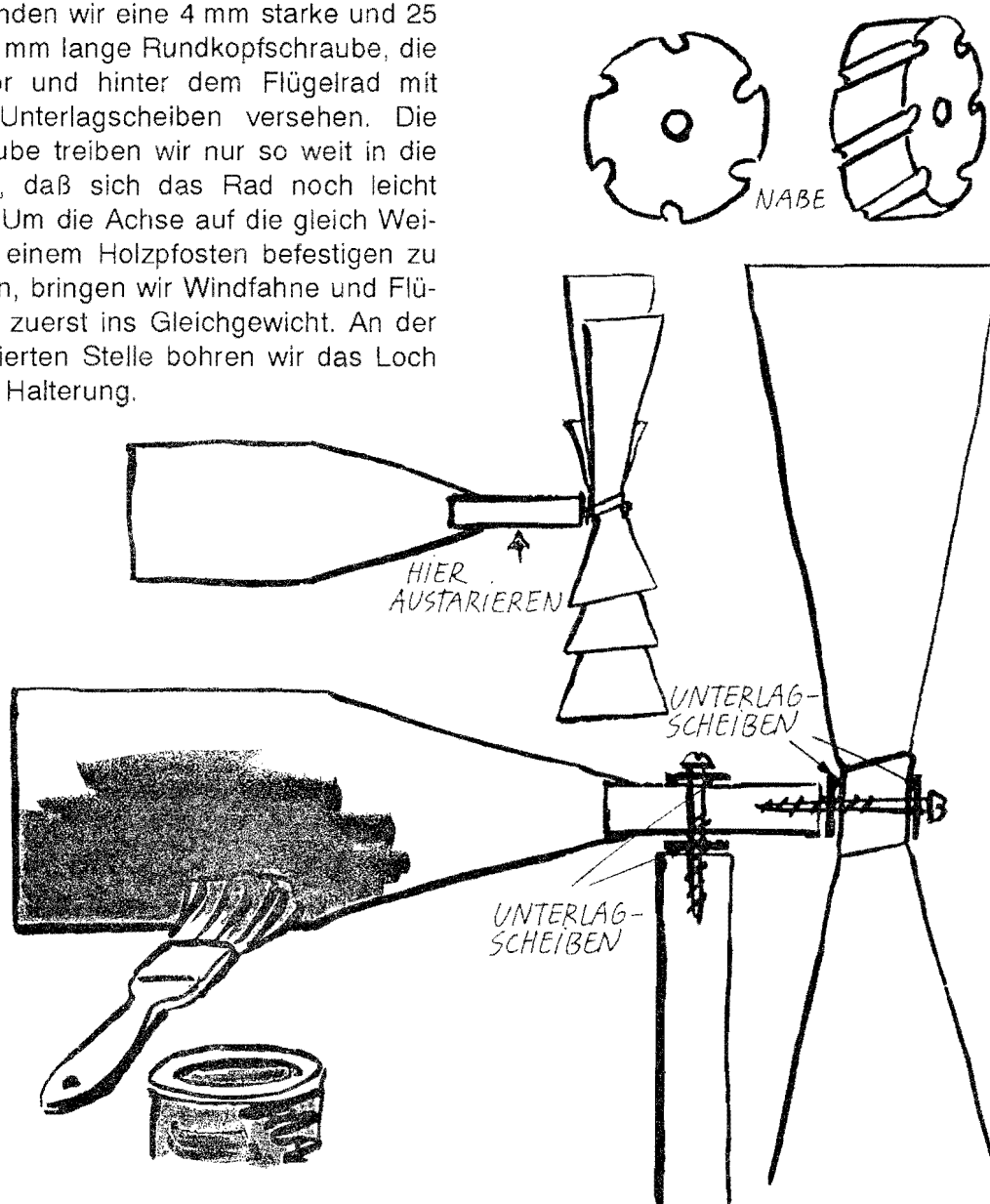


²⁰⁾ Nach: A.-M. Drechsler: a.a.O., S. 7.

Wir beginnen mit dem Bau der Nabe, durch deren Mitte wir ein Loch mit 5 mm Durchmesser bohren. In das Rundholz sägen wir sechs schräge, gleichmäßig verteilte, etwa 3 mm breite und 5 mm tiefe Schlitzte. Ähnlich verfahren wir mit dem Vierkantholz der Achse, das an einem Ende einen ca. 3 mm breiten und 8 mm tiefen Schlitz erhält.

Dann sägen wir die Windfahne und sechs Flügel nach Vorlage aus und leimen sie in die Schlitzte der Nabe bzw. Achse. Als Lagerung für das Flügelrad verwenden wir eine 4 mm starke und 25 bis 30 mm lange Rundkopfschraube, die wir vor und hinter dem Flügelrad mit zwei Unterlagscheiben versehen. Die Schraube treiben wir nur so weit in die Achse, daß sich das Rad noch leicht dreht. Um die Achse auf die gleich Weise an einem Holzpfosten befestigen zu können, bringen wir Windfahne und Flügelrad zuerst ins Gleichgewicht. An der austarierten Stelle bohren wir das Loch für die Halterung.

Soll das damit fertige Windrad ins Freie hinaus, ist ein wetterfester Anstrich ratsam. Das Windrad eignet sich zwar nicht zur Gewinnung von elektrischer Energie, bringt aber Farbe und Bewegung in den Garten oder auf den Balkon.



8.6.3 Windenergie und Ökonomie

Windspiele²¹⁾

Martin Kneer, Bürgermeister der norddeutschen Stadt Husum, hatte schon vor Jahren eine glänzende Idee: Er wollte in der Südermarsch vor den Toren der Stadt einen Windpark bauen lassen, um sauberen Strom für seine Bürger zu erwirtschaften. Das wäre ein hübsches Aushängeschild für Husum gewesen und hätte außerdem ein paar Stellen in der Region mit der miesen Arbeitsmarktlage geschaffen.

Der Magistrat holte Angebote ein und beantragte Förderungen von Land und Bund. Die günstigsten Bedingungen für die Errichtung eines Windparks bot der dänische Hersteller Vestas, eine Firma, die wohl die größten internationalen Erfahrungen im Bau von Windmühlen hat. Weltweit erzeugen 6000 ihrer Anlagen sauberen Strom. Die Dänen waren zudem daran interessiert, in Husum ein Zweigwerk zu errichten, hatten bereits 3500 Quadratmeter Gewerbegebiet gekauft und die „VESTAS-GmbH-Deutschland“ gegründet.

Doch ein Vertragsabschluß kam nie zustande. Unter anderem, weil das Bundesforschungsministerium keine ausländische Firma fördern wollte; und ein alternatives Angebot von MAN, dem größten bundesdeutschen Hersteller hätte gut und gern das Doppelte verschlungen.

Also geschah erst einmal gar nichts. Statt dessen formierte sich im benachbarten Kreis Dithmarschen eine „Fördergesellschaft Windenergie“. Der Verein wollte, angetrieben von dem Itzehoer CDU-Bundestagsabgeordneten Dietrich Austermann, ein paar Fördermillionen des Bundes einholen und in der Nähe von Brunsbüttel einen Windpark von sage und schreibe 350 Mühlen errichten. Die Geschäftsführung des Vereins übernahm Erich Hau, damals Mitarbeiter der Firma MAN, jenem Unternehmen, das einst der Hauptkonstrukteur des flügelahmen, 106 Millionen Mark teuren Windsauriers „Growian“ war. Da wundert es kaum, daß die Dithmarscher

Initiative auf ihrem Gelände MAN-Anlagen favorisierte und dem Konkurrenzunternehmen Vestas kurzerhand die Aufnahme in den Förderverein verwehrte.

Das 350-Mühlen-Projekt machte viel Wind um wenig: Vier Jahre nach der Gründung des Vereins fegt auch in Dithmarschen der Wind noch immer weitgehend ungenutzt über die Deiche. Lediglich ein kleines Testfeld erwirbelt inzwischen 1,3 Megawatt Energie – während im benachbarten Dänemark längst 2300 Anlagen 1,2 Prozent des nationalen Stromverbrauchs decken. Inzwischen hat jedoch auch der Magistrat der Stadt Husum neue, alte Pläne: Auf der grünen Wiese sollen nunmehr 15 Rotoren mit einer Leistung von jeweils 250 Kilowatt aufgestellt werden. Als Hersteller sind MAN und die Husumer Schiffswerft im Gespräch, ein Unternehmen, das bisher nur wenig Erfahrung mit der windigen Energieerzeugung hat. Kritiker befürchten deshalb, daß auch dieses elf Millionen Mark teure Projekt scheitern könnte.

Der Windpark soll, wenn er denn entstehen wird, jährlich 76 Millionen Kilowattstunden erwirbeln; das sind immerhin acht Prozent dessen, was die 21 000 Einwohner Husums nebst den Gewerbebetrieben verbrauchen. Damit könnte die frische Brise über Husum: 7600 Tonnen CO₂ vermeiden, die entstehen, solange der Strom mit fossilen Brennstoffen erzeugt wird.

Wind ist, nach der Wasserkraft, die günstigste Energiequelle. Windräder sind relativ einfach konstruiert, technisch ausgereift und lassen sich schnell installieren. In Dänemark, das die Windenergie schon seit 1973 intensiv fördert, leben inzwischen 8000 Menschen von dem neu entstandenen Industriezweig, der Mühlen für die Welt baut. Sieben- bis zehntausend Anlagen gehen jährlich in den Export, und der dänische Energieminister glaubt, daß im eigenen Lande

**Der Wind, der Wind
das himmlische
Kind: Die windige
Energie ist die
zweitbilligste Art,
Strom zu erzeugen.**

merhin acht Prozent dessen, was die 21 000 Einwohner Husums nebst den Gewerbebetrieben verbrauchen. Damit könnte die

21) Nach: Greenpeace-Nachrichten IV/1989, S. 12f.

bis zum Jahr 2000 rund 60.000 Propeller surren werden.

Zumindest im bundesdeutschen Norden herrschen ähnliche Windverhältnisse wie im Staate Dänemark. So lohnt es sich auch dort, ein Windrad zu betreiben – vorausgesetzt, man verbraucht den größten Teil des erzeugten Stroms selbst. Der Eigenproduzent spart damit rund 25 Pfennig je Kilowattstunde. Zusätzlich steuert das Bundesforschungsministerium, BMFT, im Rahmen des neuen Förderungsprogramms „100 Megawatt Wind“ acht Pfennig für jede Kilowattstunde Strom bei, sofern sie von einer neu erstellten Anlage erwirbelt wird. Die Investitionskosten lassen sich überdies zehn Jahre lang mit zehn Prozent steuerlich absetzen. Insgesamt sinken damit die Kosten für ein privates Windrad um die Hälfte.

Schlechter sieht es aus, wenn der private Windkraftwerker seinen überschüssigen Strom verkaufen will. Der schleswig-holsteinische Versorger Schleswig zahlt durchschnittlich neun Pfennig für jede ins Netz eingespeiste Kilowattstunde – ein politischer Preis, denn, wie Insider schätzen, bezieht die Schleswig ihren Strom vom Großproduzenten Preussag für 16 Pfennig.

Da in Schleswig-Holstein einer Untersuchung zufolge 37 Prozent des Gesamtstroms durch Wind erzeugbar wären, will auch die Landesregierung in Kiel den Windfreunden neuerdings unter die Arme greifen: Bis zu 30 Prozent der Bau-

kosten, so kündigt das Land an, wolle es beim Erwerb neuer Windräder übernehmen. Prompt landeten über 300 Anträge für eine geplante Gesamtleistung von rund 100 Megawatt auf den Tischen der Genehmigungsbehörde – und der größte Teil der Interessenten wünscht sich eine Anlage von Vestas.

Rechnet Vestas Geschäftsführer Friedrichsen deshalb mit einem Windboom in Deutschlands Norden? „Das hängt davon ab, was letztlich wirklich genehmigt wird“, sagt der Kaufmann. Am aussichtsreichsten erscheinen ihm gemeinschaftlich betriebene Windparks, bei denen jeder Beteiligte eine eigene „Patenschaftsmühle“ erhält, die er dann persönlich abschreiben kann. „Ich glaube“, meint Friedrichsen, „daß es heute genug Leute gibt, die an einer solch vernünftigen Sache interessiert sind, selbst wenn dabei nur eine geringe Rendite herauspringt.“

Einer seiner Mitarbeiter ist noch zursichtlicher. Er hat am Tümmelauer Koog bei St. Peter Ording fünfzig Hektar Land gekauft und abgesichert, „daß sich keiner davorstellt“. Gemeinsam mit freien Investoren will er dort 14 Windmühlen mit einer Leistung von insgesamt 2,8 Megawatt installieren. Nach der vorläufigen Kostenrechnung wäre der Park in der Lage, sich in acht Jahren zu amortisieren. Bei einer erwarteten Generator-Lebenszeit von 20 Jahren bliebe dann über ein Jahrzehnt zum Geldverdienen.

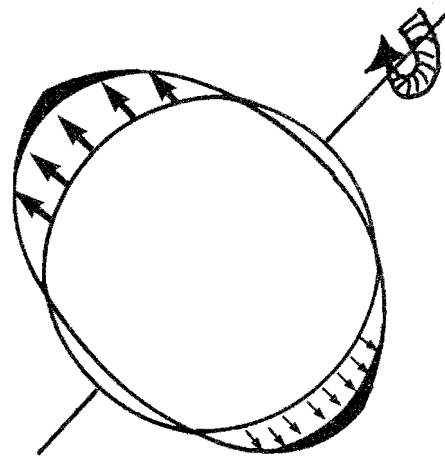
Reiner Klingholz

8.7 Gezeitenkraftwerk²²⁾

Durch die Anziehungskraft des Mondes auf die Wassermassen der Weltmeere entstehen an den Küsten in regelmäßigem Rhythmus die Gezeiten, Ebbe und Flut. In der Bundesrepublik Deutschland bemerkt man die Gezeiten vor allem an der Nordsee.

Während die Periode, mit der der Wasserhöchststand wiederkehrt, überall 12 Stunden und 25 Minuten beträgt, sind Zeitpunkt und Höhe dieses sogenannten "Hochwassers" von Ort zu Ort verschieden. Für jeden Ort an den Küsten der Ozeane gibt es Gezeitentabellen über Zeit und Höhe der Fluten. Diese auf langjährigen Messungen beruhenden Werte der Hochwasserstände bilden die Grundlage bei einer Standortwahl für ein Gezeitenkraftwerk.

Die Entstehung von Ebbe und Flut. Gezeigt ist die Erde (groß) und der Mond. Beide ziehen sich durch ihre Schwerkraft an, und zwar ist die Schwerkraft um so stärker, je kleiner die Entfernung ist. Daher wird die im Mond zugewandte Seite stärker angezogen als die Mitte der Erde, und die Mitte mehr als die dem Mond abgewandte Seite: die Erde wird also in Richtung Mond "gestreckt", was sich nur im Meer bemerkbar macht. Weil sich die Erde dreht, wandern die beiden "Berge" (Flut) und die beiden "Täler" (Ebbe) je einmal am Tag um die Erde herum.

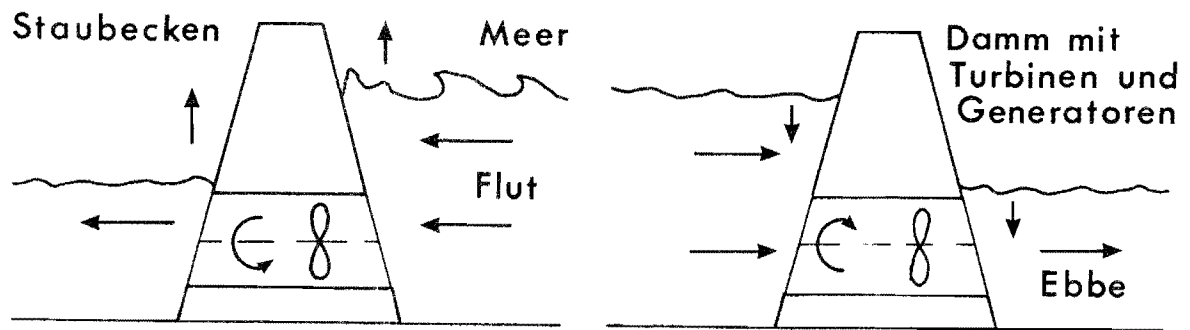


Für eine technische Nutzung der Gezeitenenergie ist ein Gezeitenhub (Differenz der Wasserhöhe zwischen Hoch- und Niedrigwasser, auch Tidenhub genannt) von mindestens 8 Metern notwendig. Über 50 Standorte auf der Erde erfüllen solche günstigen Bedingungen. Bis zu 16 Meter beträgt der Tidenhub an der japanischen Küste.

Daraus ergibt sich weltweit ein technisch nutzbares Potential von etwa 200 000 Megawatt. (Zum Vergleich: In der Bundesrepublik sind zur Zeit etwa 80 000 MW elektrische Leistung installiert.) In der Rancemündung an der französischen Atlantikküste bei St. Malo ist seit 1967 das größte Gezeitenkraftwerk der Welt mit einer Leistung von 240 Megawatt in Betrieb.

Ähnlich wie bei einem Laufwasserwerk werden die Turbinen von der kinetischen Energie des auflaufenden und abfließenden Wassers angetrieben. Zum Zeitpunkt, da im Staubecken und im Meer gleiches Wasserniveau vorhanden ist, stehen die Turbinen jedoch still. Diese Stillstandsphasen verschieben sich mit der Gezeitenperiode täglich um 50 Minuten. Dadurch sind die Zeiten der Elektrizitätserzeugung täglich andere, während die täglichen Bedarfspitzen immer zur gleichen Zeit liegen. Stillstandszeiten des Kraftwerks können also mit Verbrauchsspitzen zusammenfallen. Man kann diese Stillstandsphasen allerdings überbrücken, wenn man dafür während der Betriebszeit Wasser in höher gelegene Speicherbecken pumpt.

²²⁾ Nach: K. Kreß u.a., a.a.O., S. 147ff.



Wirkungsweise des 240-MW-Gezeitenkraftwerks von St. Malo an der französischen Atlantikküste; der hohe Ebbe/Flut-Höhenunterschied des Meerwasserspiegels ("Tidenhub") von 13 Metern wird seit dem Jahre 1967 zur Stromerzeugung genutzt.

An der kanadischen Atlantikküste bei Annapolis ist eine ganze Gezeitenkraftwerkskette von 130 Anlagen im Bau. Die gesamte Stromproduktion entspricht der von sechs großen Atomkraftwerken. Nach Angaben der Betreiberfirma sollen die Kosten unter denen für Öl-, Kohle- oder Atomkraftwerke liegen. Gezeitenkraftwerke sind völlig emissionsfrei und betriebssicher. Dennoch sprechen Landschaftsschutzargumente an manchen Standorten eher gegen solche großflächigen Anlagen. Für die Energieversorgung in der Bundesrepublik spielt die Gezeitenenergie keine Rolle, weil hinreichende Tidenhubbe nicht vorhanden sind.

8.8 Nutzung der Erdwärme²³⁾

Seit altersher wird die vulkanische Wärmeenergie genutzt. Dieses ist allerdings nur an ganz wenigen Orten der Erde sinnvoll möglich. Bisher gibt es geothermische Heizwerke in Island, Norditalien und dem ehemaligen Jugoslawien. Auch in den neuen Bundesländern werden geothermische Heizwerke gebaut (siehe FR-Artikel vom 17./18.1992, S. 6).

Wärme kommt aus der Tiefe

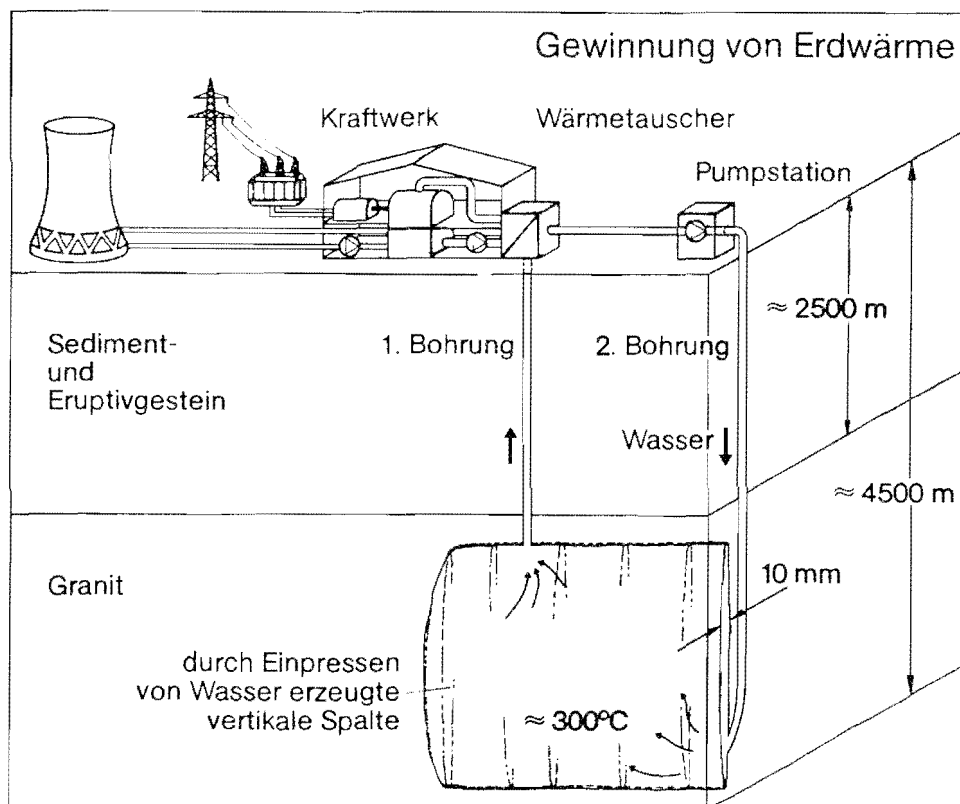
In der westmecklenburgischen Kleinstadt Neustadt-Glewe soll bis 1994 die vierte geothermische Heizzentrale der neuen Bundesländer entstehen. Mit der Geothermie Neubrandenburg GmbH ist daran ein Unternehmen beteiligt, das die Nutzung von Erdwärme in Deutschland maßgeblich vorangetrieben hat. 1984 baute der damals volkseigene Betrieb in Waren/Müritz eine geothermische Heizzentrale, die bis heute ein ganzes Wohngebiet mit Wärme aus der Tiefe versorgt.

Nutzbare Thermalwässer lagern im ganzen Nordosten Deutschlands in Tiefen von etwa 1000 bis 2500 Metern. Sie werden an die Oberfläche gepumpt und geben ihre Energie über Wärmetauscher an einen Heizkreislauf ab. Die Nutzung der Geothermie hat sich nicht so entwickelt, wie es sich der Neubrandenburger Betrieb erträumt hat. Wegen hoher Inve-

stitionskosten für ein geothermisches Heizwerk sind die Kommunen von Fördermitteln von Bund und Land abhängig.

Die Geothermie gilt als umweltfreundlich, erzeugt keine Luftverschmutzung, braucht keine Rohstofftransporte. Der Erzeugerpreis kann laut Bundesforschungsministerium in modernen Anlagen auf 90 Mark je Megawattstunde gedrückt werden, womit er gegenüber herkömmlichen Heizungen konkurrenzfähig wäre. Voraussetzung sind Abnehmer, die auch im Sommer Wärme benötigen.

Gefördert wird die Geothermie in der Bundesrepublik 1993 vom Bundesforschungsministerium (BMFT) mit fünf Millionen Mark. Das sind ganze 1,7 Prozent aller Fördermittel für alternative Energien. Das Projekt in Neustadt-Glewe wird vom BMFT und dem Wirtschaftsministerium des Landes gefördert. dpa



23) Nach: LSW, a.a.O., S. 109.

8.9 Bau einer Biogasanlage²⁴⁾

Der nachstehende Beitrag beschreibt den Bau einer Biogasanlage von Schülerinnen und Schülern einer gymnasialen Oberstufe im Rahmen einer Projektwoche.

In diesem Beitrag wird nicht nur eine detaillierte Bauanleitung gegeben, sondern es werden auch die Fragen und Probleme thematisiert, die sich den Schülerinnen und Schülern sowie der Lehrerin während des Projektes stellten.

Dieses Projekt fand zahlreiche Nachahmungen, insbesondere in den Jahrgangsstufen 8, 9 und 10.

Einmal im Jahr findet an unserer Schule, einem Gymnasium, eine Projekt- und Wanderwoche statt: die Oberstufenschüler können zwischen einer Studien- oder Wanderfahrt und einem Projekt am Schulort wählen. Dieses Mal wollte ich ein Projekt anbieten.

Warum wurde es ausgerechnet ein Projekt über Biogas?

Im Rahmen des Physikunterrichts im Kursystem hatte ich bis dahin an Energiethemen vor allem Kernenergie behandelt, womit

sich die Schüler immer engagiert auseinandersetzen. Dabei wurde zunehmend ein Interesse der Schüler an alternativen Energiequellen sichtbar. Berichte über Projekte von Lehrern anderer Schulen ermutigten mich, selber den Bau einer Biogas-Anlage in Angriff zu nehmen. Nachdem ich mich in Literatur eingearbeitet hatte, schaute ich mir bei der Arbeitsgruppe „Sanfte Energie“ in Bensheim eine Modell-Biogasanlage an und besprach dort meine offenen Fragen.

Nun kündigte ich das Projekt wie folgt an:

Projektwoche

Bau einer Biogas-Anlage

Kurzbeschreibung des Projekts

In BIOGAS-ANLAGEN wird biologischer Abfall (z. B. Kuhmist, Stroh etc.) unter Luftabschluß von Bakterien zersetzt. Dabei entstehen Biogas und Biodung. Biogas ist dem Erdgas vergleichbar und kann z. B. zum Heizen verwendet werden. Biodung ist ein geruchfreier, hochwertiger biologischer Dünger. BIOGAS-ANLAGEN können für landwirtschaftliche Betriebe durchaus interessant sein. In der PROJEKTWOCHE soll versucht werden, eine kleine, funktionsfähige Modell-Biogasanlage zu bauen. Eine kleine Ausstellung über Biogas-Anlagen ist außerdem geplant. Interessierte Schüler tragen sich hier ein:

.....

24) Nach: R. Pieper, a.a.O., S. 382f.

Vorbesprechung mit den Schülern

Ca. 30 Schüler hatten sich angemeldet, mehr als ich erwartet hatte, aber zu viele für eine Gruppe. Da traf es sich gut, daß ein Referendar am Projekt mitarbeiten und eine Gruppe übernehmen wollte. Wir boten den Schülern nun drei Untergruppen an:

- Bau einer Biogas-Anlage
- Bau eines Sonnenkollektors
- Erarbeitung einer Ausstellung über Biogas-Anlagen/ Sonnenkollektoren

Zum Bau eines Sonnenkollektors waren mehrere Schüler bereit, aber an der Ausstellungsgruppe hatte niemand Interesse. Die Schüler waren offensichtlich gekommen, um endlich einmal etwas Praktisches zu machen – theoretische Arbeit wird von ihnen ja im Unterricht täglich zur Genüge gefordert! So gingen wir nach einigen Diskussionen auf die Wünsche der Schüler ein. In der nächsten Vorbesprechung trugen sie weitere Ideen für umweltfreundliche Technologien zusammen, z. B. wurde über die bessere Ausnutzung der Abluft eines Kamins diskutiert und über den Bau eines Wasserrades. Schließlich bildete sich eine dritte Gruppe, die ein Wasserrad zur Stromerzeugung bauen wollte. Sie wurde von aktiven Schülern der 13. Klasse getragen und arbeitete weitgehend selbständig.

Ich berichte nun über die Gruppe „BIO-GAS“, in der ich selber mitmachte. Dabei gehe ich schwerpunktmäßig auf folgendes ein:

- Arbeitsverlauf – technische Aspekte
- Erfahrungen mit den Schülern
- Auswirkungen des Projekts.

Arbeitsverlauf – technische Aspekte

Neun Schüler der Klassen 11, 12 und 13 arbeiteten jeden Vormittag eine Woche lang in der Projektgruppe mit. Wir kannten uns nur teilweise aus dem Unterricht. Zunächst überließen die Schüler mir die Initiative. Als Einstieg zeigte ich eine Diareihe¹ über die Energiesituation allgemein und über Biogas-Anlagen und ihre Funktionsweise im besonderen. Zu diesem Zeitpunkt war das Bedürfnis der Schüler, über die Energieproblematik zu diskutieren, gering; sie wollten lieber gleich mit der praktischen Arbeit anfangen. Wir schauten uns die von mir bereits besorgten Materialien an:

- 5 Plastikfässer à 50l und 100l
- Isolationsmaterial – Styropor
- Verbindungsschläuche
- Dichtungsmaterial
- Bohrmaschine und Handwerkszeug aus der Physiksammlung.

Außerdem standen uns ca. 200 DM der Elternspende zur Verfügung.

Doch bevor wir mit dem Bauen beginnen konnten, brauchten wir ein Konzept, einen Plan. Wie sollte unsere Anlage aussehen? Da die Zeit von einer Woche zu kurz gewesen wäre, um ein eigenes Konzept mit den Schülern entwickeln zu können, stützten wir uns auf eine Bauanleitung², die wir gemeinsam durchsprachen.

Verschiedene Probleme ergaben sich, z. B. bei der Heizung der Anlage: Wenn man eine Heizschlange direkt in den Gärbehälter einbaut, dann müssen die Anschlüsse herausgeführt werden. Damit wird es aber schwieriger, den Gärbehälter abzudichten und es besteht die Gefahr der Korrosion. Daher entschieden wir uns für die in der Bauanleitung vorgeschlagene Heizung von außen über ein Wasserbad. Doch dafür brauchten wir noch einen extra Wasserbehälter. Woher könnte man den bekommen? Ein altes 200 l Ölfaß? Ein Schüler konnte es von seinen Eltern besorgen.

Gleich das nächste Problem: Wie sollten wir isolieren? Mit Isoliermatten (teuer) oder mit Styropor und Holzkiste? Letzteres war die stabilere Konstruktion. Außerdem hatte ich schon Kontakte zu einem Schreiner aufgenommen, der sich bereit erklärt hatte, zusammen mit drei Schülern aus der Gruppe eine Holzkiste in seiner Werkstatt zu bauen. Das war natürlich toll! Es fanden sich gleich drei Schüler, die gerne schreintern wollten. Jetzt waren wir mitten in der Arbeit, die Sache kam zum Laufen. In den nächsten Tagen bauten die Schüler in wechselnden Gruppen einen Rührer aus Alteisen, einen Blasenähler und ein Rückschlagventil. Sie präparierten den Gärbehälterdeckel und den Gasspeicher und eichten selbständig den Temperaturregler des Heizstabes auf 30°C. Einige Schüler befestigten ein Holzgerüst an der Wassertonne des Gasspeichers, damit der volle Gasspeicher nicht umkippen konnte, andere strichen die Holzkiste mit einer wasserabweisenden Farbe grün an.

Besondere Probleme machte uns dann der gasdichte Einbau des Rührers. Hier konnten wir in *Zusammenarbeit mit ortsansässigen Handwerkern, dem Schreiner und einem Schlosser*, das Problem lösen. (Übrigens

hatten wir auch von lokalen Firmen einen Teil des benötigten Materials kostenlos erhalten, Gärbehälter, Gasbehälter und Isoliermaterial.)

Nach 5 Tagen war die Biogas-Anlage gerade rechtzeitig fertig geworden! Kuhmist zum Füllen und Jauche konnten wir uns bei einem Landwirt aus dem Ort holen; mit Gummistiefeln, Eimern und Schubkarre war das recht lustig! Damit der Gärprozeß recht schnell in Gang kommen würde, holte ich einen Eimer voll Klärschlamm aus der Kläranlage des Nachbarortes als „Impfmateriale“, das wir dem Kuhmist zusetzten. Wir verschlossen die Anlage sorgfältig und stellten sie in einer Ecke des naturwissenschaftlichen Baus auf (nach Absprache mit der Schulleitung). Sie stand dort – gut sichtbar – über ein halbes Jahr – und kein Schüler hat etwas daran kaputt gemacht.

Erfahrungen mit den Schülern

Wie war die Arbeitsatmosphäre während des Projekts? Was war für die Schüler wichtig?

Wir arbeiteten in einem Werkraum der Schule. Die Schüler konnten sich aussuchen, was sie machen wollten, und auch ihre Pausen selbst bestimmen. Wir hatten ein Radio aufgestellt und hörten nebenbei Musik.

Zu Anfang fragten die Schüler häufig „Was kann ich tun?“, sie waren unselbständig, überlegten nicht selber den nächsten Arbeitsschritt. Das wurde im Laufe des Projekts immer besser. Aber warum waren sie zu Anfang so unselbständig? Sie selber meinten dazu, daß sie es vom Unterricht nicht anders gewohnt wären; sie würden meistens aufgefordert, etwas zu tun, Eigeninitiative hätten sie dort kaum entwickelt. Ein Hemmnis für die Schüler war wohl auch, daß ich Ihnen die Bauanleitung vorgegeben hatte, dadurch war ihre Kreativität zunächst nicht herausgefordert sondern eher eingeschränkt. An bestimmten Stellen brach sie aber durch, z. B. beim Abdichten des Gärbehälters, wo sie in Abweichung vom Bauplan eine einfachere Lösung suchten. In solchen Phasen nahmen die Schüler die Arbeit sehr ernst.

Das *Handwerken* machte ihnen Spaß, so z. B. der Bau der Holzkiste, das Absägen der Deckelschlüssel, das Löcherbohren, das Zurechtsägen des Rührers mit einer Metallsäge, was gar nicht so einfach war. Plötzlich waren solche praktischen Fähigkeiten gefragt und wurden bestaunt, die anderen standen teilweise drum herum und schauten zu. Dabei entwickelte sich zunächst die klas-

sische *Rollenverteilung* – die Jungen hämmerten und sägten, die Mädchen machten sich an knifflige Feinarbeiten, wie das Zurechtschneiden von Dichtungen und das Einschrauben von Verbindungsröhrchen in Gär- und Gasbehälterdeckel (für den Anschluß der Gasschläuche). Behutsam versuchte ich, mit den Schülern über ihr Rollenverhalten zu sprechen, munterte die Mädchen auf, auch einmal zu bohren und zu sägen. Langsam gingen sie darauf ein und hatten Erfolgserlebnisse.

Wichtig war für die Schüler: wird unsere Anlage funktionieren? Ist sie vorzeigbar? Ferner die Frage, wie groß die Gasausbeute bei Biogas-Anlagen ist. Hier fingen sie das erste Mal an, von sich aus zu rechnen, nahmen die bereitliegende Literatur zur Hand und führten eine Modellrechnung für unsere Anlage durch. Auch beschäftigte sie, wie ein Landwirt Biogas verkaufen könne; sie schlugen vor, es in alte Autoreifen zu pumpen und diese zu verkaufen. Allerdings mußte ich einwenden, daß solch kleine Mengen noch nicht für die Heizung einer Wohnung ausreichen, aber als Treibstoff für landwirtschaftliche Maschinen sicher geeignet wären. Übrigens erzählte mir ein Landwirt, daß in den 50iger Jahren – vor den Zeiten des billigen Öls – Traktoren durchaus mit Biogas fuhren. Angeregt durch diese Informationen, drängte sich für die Schüler die Frage auf, ob Biogas-Anlagen mit Kernkraftwerken konkurrieren könnten. Daß sie auf jeden Fall umweltfreundlicher sind, war unbestritten.

Doch von welcher Größenordnung und Anzahl diese sein müßten, oder inwieweit es überhaupt sinnvoll wäre, Biogas ausschließlich zur Stromerzeugung zu nutzen, waren Fragen, die diskutiert wurden. Daß unsere Biogas-Anlage weder mit „Biblis“ noch mit einer Großbiogas-Anlage würde konkurrieren können, änderte nichts an dem Engagement der Schüler, die Modell-Biogas-Anlage fertigzustellen.

Als die Anlage fertig war, waren wir natürlich stolz! Wir trafen uns am letzten Projekttag noch einmal nachmittags, feierten und zogen Résumé. Die Schüler hatten gut gefunden, daß sie während der Projektwoche ohne Leistungsdruck und ohne Benotung arbeiten konnten – den Zeitdruck, es in diesen 6 Vormittagen hinzubekommen, hatte ich stärker empfunden als sie. Am letzten Nachmittag und Abend entstand noch eine knappe Bebilderung und Beschriftung unserer Biogas-Anlage. Die Schüler zeichneten ein großes Funktionsschema der Anlage, brachten an verschiedenen Stellen Hinweisschilder an wie – Vorsicht! Explosionsgefahr – Nicht Berühren – Nicht Rauchen –

usw. Sie stellten ein Informationsblatt über den Gärprozeß zusammen, gaben den Energieinhalt von 1 m³ Biogas an und berechneten die zu erwartende Gasmenge. Es war spät geworden, als wir damit fertig waren. Nach ca. 7 Tagen setzte die erste Gasproduktion ein. Zu unserer Freude brannte es wirklich! Ein Schüler des Chemie-Leistungskurses analysierte später das Biogas und erhielt gute Werte: knapp 70 % Methan, ca. 30 % Kohlendioxid, Spuren von Schwefelwasserstoff.

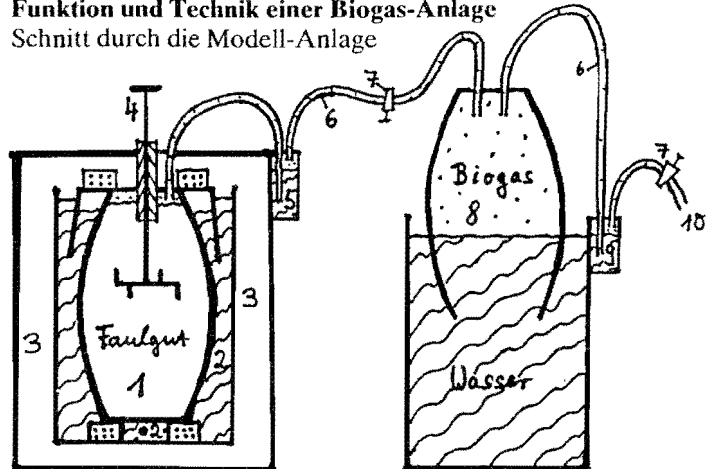
Auswirkungen des Projekts

Den Abschluß für die Gruppe bildete, gemeinsam einen *Zeitungsartikel* über das Biogas-Projekt zu schreiben, der in der Lokalzeitung veröffentlicht wurde. Für viele Schüler war das eine gute Erfahrung, auch die, von anderen darauf angesprochen zu werden.

Einzelne verfolgten die Sache noch weiter. *Mit dem Gas kochten wir zweimal pro Woche Tee*, der in den Pausen an die Mitschüler verkauft wurde.

Ferner führten wir die Anlage *vielen Klassen* vor, sogar einigen von anderen Schulen. Die meisten Schüler waren sehr interessiert und stellten Fragen, nachdem sie anfangs die Nase etwas gerümpft hatten – man roch aber nicht den Mist, sondern nur Spuren von Schwefelwasserstoff, die im Gas enthalten waren. Jüngere Schüler, z. B. aus den Klassen 7, zeigten schon großes Interesse an der Biogas-Anlage. Sie halfen später beim Entleeren und Füllen des Gärbehälters; man hätte die Anlage sicher auch mit Mittelstufenschülern bauen können. Ich stellte später noch einige Plakate über Biogas-Anlagen zusammen, in denen über Anlagen in Deutschland, Dänemark, Indien und China berichtet wurde; in China gibt es übrigens ca. 3 Millionen Biogas-Anlagen! Außerdem fügte ich eine Amortisationskostenrechnung für Industrie- und Eigenbau-Anlagen hinzu. Im März fand – in Verbindung mit der Volkshochschule – eine *Informationsveranstaltung für Landwirte* über Biogas-Anlagen in unserer Schule statt. Die Landwirte waren beeindruckt, hätten aber gerne außer der Modell-Anlage auf einem Bauernhof eine größere funktionierende Biogas-Anlage besichtigt. Hier entsteht die Frage, ob oder inwieweit man über Schule einer neuen umweltfreundlichen Technologie zum Durchbruch verhelfen kann?

Funktion und Technik einer Biogas-Anlage Schnitt durch die Modell-Anlage



1. Gärbehälter

- er besteht aus Beton oder Plastik oder Edelstahl und muß luftdicht verschlossen werden (große Anlagen haben ein Einfüllrohr mit Pumpe, um verflüssigten Mist aufzunehmen)
- wir entschieden uns für ein 100 l Faß aus Plastik, das einmal im Monat gefüllt und entleert wird (zum Vgl. für Bauernhof mit 40 Kühen ca. 40 m³)

2. Heizung

- sie ist für gute Gasausbeute notwendig, da die Aktivität der methanbildenden Bakterien temperaturabhängig ist und der Gärprozeß selber keine Wärme erzeugt (unter Luftabschluß findet keine Verbrennung statt)
- optimale Temperaturbereiche für die Bakterien sind
30 – 35°C für ca. 30 Tage Gärdauer
55 – 60°C für ca. 10 Tage Gärdauer
- unsere Modell-Anlage haben wir mit einer regelbaren Aquarienheizung (30°C) von außen über ein Wasserbad geheizt (in großen Anlagen wird für die Heizung meist 10 – 20 % des Biogases abgezweigt)

3. Isolierung des Gärbehälters

- sie ist notwendig, um den Wärmeaustausch mit der Umgebung möglichst gering zu halten

4. Rührwerk

- es ist notwendig, um die sich auf dem flüssigen Mist bildende feste Schwimmdecke immer wieder zu zerstören, damit die Gasblasen ungehindert aufsteigen
- es besteht aus einem Quirl oder Mixer oder einer Pumpe

5. Blasenzähler

- er besteht z. B. aus Glas und ist mit Wasser gefüllt
- man erkennt die aufsteigende Gasmenge
- er dient auch der Gasreinigung

6. Gasschläuche

7. Absperrhähne

8. Gasspeicher

- möglich als Naßspeicher, eine unten offene Gasglocke wird in Wasser getaucht und steigt durch zuströmendes Gas auf

9. Rückschlagventil

- es verhindert ein Rückschlagen der Flamme vom Verbraucher zum Gasspeicher

10. Verbraucher

- z. B. Bunsenbrenner, Gasherd, Gasheizung, Gasmotor, gasbetriebener Generator o. ä.

Anmerkungen

¹ Diareihe, zu leihen bei GFIT mbH, Pfaffen...
fenerstr. 2, 7911 Roth, Tel. 07 302/67 94

² Bauanleitung aus:

„Biogas“, Arbeitsgemeinschaft Sanfte Energie,
3257 Springe – Eldagsen, 2. Aufl. 1981
oder Mönninghoff, Heike: *Energie aus Biomasse*,
in: Naturwissenschaften im Unterricht Physik/
Chemie, H. 8/1981, S. 314 – 321.