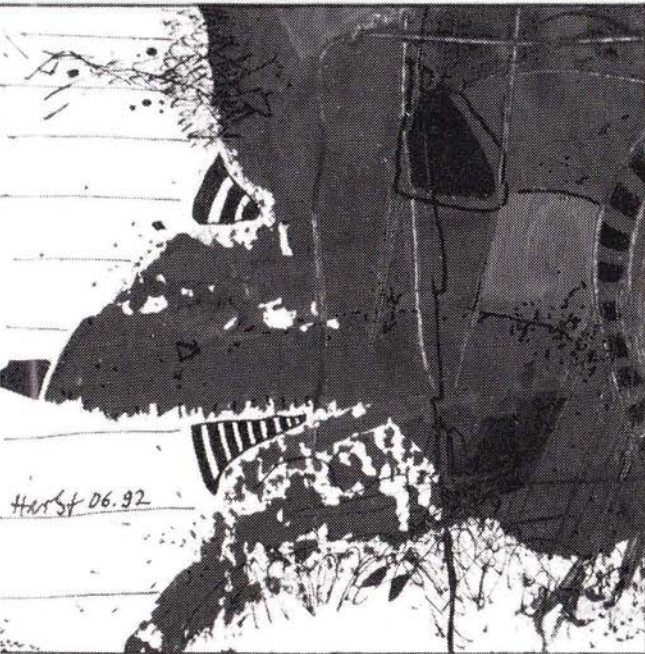




Landesinstitut für
Schule und Weiterbildung

Energiewende = Sonnenwende?

Ökologische Innovationen und naturwissenschaftliche Bildung



Dokumentation einer Fachtagung

Curriculumentwicklung



Energiewende = Sonnenwende?

Ökologische Innovationen

und

naturwissenschaftliche Bildung

Dokumentation einer Fachtagung

Herausgegeben vom

LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG

Verlag für Schule und Weiterbildung

DruckVerlag Kettler GmbH

Herausgeber: Landesinstitut für Schule und Weiterbildung

Dieser Band fasst die Ergebnisse der Tagung „Sonnenwende? Nachwachsende Rohstoffe und Solarenergie als Gegenstand von Ökologie, Ökonomie, Politik und Schule“ zusammen, die im März 1997 im Landesinstitut für Schule und Weiterbildung stattfand.

Die Tagung wurde in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Soziologische Aspekte des naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (Soznat) am Fachbereich Erziehungswissenschaften der Universität Marburg und der Universität Gesamthochschule Kassel durchgeführt.

Für die Vorbereitung der Tagung und die vorliegende Dokumentation sind verantwortlich:

Dr. Armin Kremer, Soest und Marburg
Dr. Lutz Stäudel, Kassel

Titelbild: Ute Herbst

Textverarbeitung u. Gestaltung: Ramona Marchitto

1. Auflage 1998

Nachdruck nur mit Genehmigung des
Landesinstituts für Schule und Weiterbildung
Paradieser Weg 64
59494 Soest

ISBN 3-8165-4144-5

Vetrieb:
Verlag für Schule und Weiterbildung
DruckVerlag Kettler
Robert-Bosch-Straße 14
59199 Bönen

Bestellnummer: 4144

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
<i>Dirk Wolters</i> Bisherige und zukünftige Aspekte der Energiepolitik der BRD	9
<i>Annim von Gleich</i> Natur als Mitproduzentin	31
<i>Ines Weller</i> Zur Bedeutung von Wissen für Verhaltensänderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung	77
<i>Armin Kremer, Lutz Stäudel</i> Die Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ als Thema des naturwissenschaftlichen Unterrichts	105
<i>Bernd Jaenicke</i> Die Greenpeace-Solarkampagne am Beispiel des Solar-Schulprojektes	127
<i>Lutz Stäudel, Elke Peter</i> Biomasse - zum Verbrennen zu schade	139
<i>Armin Kremer, Dieter Kasper</i> Bau eines Solarkatamarans	175
<i>Norbert Rehner</i> Kleinere und größere Energieprojekte aus dem Schulalltag heraus	189
Verzeichnis der Autorinnen und Autoren	199

Vorwort

Vom 13. - 15. März 1997 fand im Landesinstitut für Schule und Weiterbildung eine Fachtagung unter der Fragestellung „Sonnenwende? Nachwachsende Rohstoffe und Solarenergie als Gegenstand von Ökologie, Ökonomie, Politik und Schule“ statt. Mitveranstalter dieser Tagung waren, wie bereits bei ähnlichen Veranstaltungen im Schnittpunkt von gesellschaftlicher Entwicklung, Schule und naturwissenschaftlichem Unterricht, das Institut für Erziehungswissenschaften der Universität Marburg, die Universität Gesamthochschule Kassel sowie der Verein Soznat e.V. Marburg, der sich die Auseinandersetzung mit übergreifenden Fragestellungen wie diesen zur Aufgabe gemacht hat.

Bezugspunkt für das Tagungsthema war und ist die inzwischen breit geführte öffentliche Diskussion um die mögliche künftige Rolle von nachwachsenden Rohstoffen und Energie von der Sonne. Angesichts des steigenden Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre und drohenden Klimaveränderungen, eines weltweit wachsenden Energiebedarfs bei gleichzeitig schwindenden Reserven fossiler Rohstoffe und einer Fülle von Problemen durch eine kaum gezügelte Produktion immer neuer, meist nur kurze Zeit genutzter Stoffe und Produkte greifen Vorstellungen Platz, an allen Stellen wo es möglich ist, die fossilen durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen. Wie die Praxis jedoch zeigt, sind hierzu erhebliche Hürden zu überwinden. Ein wirklich nachhaltiges Wirtschaften ist nur erreichbar, wenn sowohl die eingesetzten Mittel und Technologien kritisch überprüft werden wie auch eine Veränderung von Produktion und Konsum stattfindet.

Für die Schule, für die sich dieser Komplex als eines der anstehenden, aktuell wie künftig relevanten Schlüsselprobleme im Sinne Klafkis darstellt, bedeutet der angedeutete gesellschaftliche und technologische Wandel einen zumindest partiellen Wechsel der Perspektive. Die Tagung sollte hierzu Anhaltspunkte liefern sowie erste Beispiele zusammentragen für die Art und Weise, wie Schule sich in der jüngsten Vergangenheit mit der „Sonnenwende“ auseinandergesetzt hat bzw. inwieweit Bildung bereits selbst auf dem Weg zu einer Son-

nenwende ist. Der Tagungsband dokumentiert die gehaltenen Vorträge wie auch die Workshops.

Den Anfang macht *Dirk Wolters* mit seinen Ausführungen zur Energiepolitik in Deutschland. Er zeichnet die Entwicklung im Energiesektor von der rechtlichen und politischen Situation vor dem 2. Weltkrieg nach und analysiert die heutigen Schwierigkeiten bei der Etablierung alternativer Energiekonzepte vor dem Hintergrund der Nachkriegsentwicklung.

Arnim von Gleich nimmt die stoffliche Seite in den Blick. Ausgehend von den Antipoden „Produzieren gegen die Natur“ mit den aggressiven Mitteln einer Naturwissenschaft, die alles macht was machbar ist, und einem „Produzieren mit der Natur“, das mit möglichst wenigen Eingriffen in bestehende Stoffflüsse und Kreisläufe auszukommen versucht, macht er deutlich, dass diese Vorstellungen in der Realität nur als sehr grobe Klassifizierungen bestehen können. Um in der komplexen Realität schließlich bewusst handlungsfähig werden zu können, müssen jeweils Entscheidungen getroffen werden, die sich jedoch auf Kriterien beziehen, welche weitaus differenzierter sind als durch „mit“ oder „gegen“ die Natur ausgedrückt werden kann.

Ines Weller überträgt diese kritische Sicht auf die (Natur-)Wissenschaft als Produkt gesellschaftlicher Prozesse und stellt die Frage, welche Bedeutung Wissen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung besitzt. Am Beispiel von Umweltwissen und Umwelthandeln kontrastiert sie die Ergebnisse der empirischen Sozialforschung mit der - im Bildungsbereich stets präsenten - Annahme, dass Wissen Verhalten ändern kann. Dabei wird nicht nur deutlich, dass bereits die Art der Fragestellung von großer Bedeutung für die möglichen Antworten ist. Sie stellt auch heraus, dass die angenommenen Beziehungen zwischen Handeln und Wissen weit komplexer sind, als in der Regel unterstellt.

Armin Kremer und *Lutz Stäudel* unterziehen die Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ einer kritisch-konstruktiven Betrachtung, hinsichtlich der Möglichkeit einer didaktischen Umsetzung in den Unterricht. Während sie einige der in der Studie verwendeten Begriffe und Zuschrei-

bungen deutlich in Frage stellen, entwickeln sie, ausgehend von den Leitbildern der Studie, eine Vielfalt methodischer und inhaltlicher Ansätze, die keineswegs nur die Ebene von Unterricht betreffen, sondern darüber hinaus Formen der Organisation und der Beziehungen zwischen Schule und ihrem Umfeld.

Während das letztgenannte Referat bereits einen Wechsel von eher theoretischer Sicht zum Praktischen markiert, stehen die übrigen Beiträge, insbesondere die drei parallelen Workshops im Zeichen einer inhaltlich und methodisch innovativen schulischen Praxis.

Bernd Jaenicke stellt am Beispiel eines Solarschulprojektes die Greenpeace Solarkampagne vor. Hierbei geht es um die konkrete Veränderung der schulischen Energieversorgung und die Unterstützung der erforderlichen Maßnahmen durch begleitende Experimente und Betrachtungen.

Lutz Stäudel und *Elke Peter* unterbreiten in ihrem Workshop vielfältige Möglichkeiten für die experimentelle Auseinandersetzung mit nachwachsenden Rohstoffen. Das Angebot reicht von Versuchen zur Biomassebildung in Pflanzen bis zur Herstellung von Verpackungsmitteln aus Stärke, von der Produktion eines Linoleumstücks aus Leinöl bis zur Untersuchung der Abbaubarkeit von Produkten verschiedener Herkunft.

Der Bau eines Solarkatamarans stand im Mittelpunkt des Workshops von *Armin Kremer* und *Dieter Kasper*. Berichtet wird über die Erfahrungen aus einem fächerübergreifenden Unterrichtsprojekt Polytechnik/Physik, von der Idee zum Bau, über die Planung bis hin zum fertigen Ergebnis.

Norbert Rehmer schließlich stellt kleinere und größere Unterrichtsprojekte vor, die sich mit dem Thema Energiegewinnung und -verbrauch in der Schule beschäftigen.

Armin Kremer, Lutz Stäudel

November 1997



Dirk Wolters

Bisherige und zukünftige Aspekte der Energiepolitik der BRD

1. Historie

Um ein Verständnis für die heutige Situation in der Energieversorgung der BRD zu entwickeln, ist ein Blick auf die historische Entwicklung derselben von Nöten. Auch ist eine sinnvolle Aussage, wie sich das Energiesystem der BRD durch den Einbau neuer Energieträger ändern würde, nicht möglich, ohne vorher darzulegen, wie das bestehende System beschaffen ist.

Die Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft kann zeitlich verschieden strukturiert werden. Unterschiede in der Einteilung der Perioden, die sich in der Literatur finden, resultieren aus unterschiedlichen Gewichtungen technischer, wirtschaftlicher und politischer Aspekte (Kristof 1992). In der hier vorgenommenen Einteilung wird eine Mischform gewählt, die einerseits technische Aspekte beachtet, aber auch den Schwerpunkt auf die Hauptakteure der Entwicklung und auf politische Einschnitte setzt. Fünf Perioden lassen sich demnach unterscheiden:

Als erste wird die Zeit der Vorversuche (1832-1880) genannt, in der Versuchsanlagen zu Entwicklungs- und Vorfürhrzwecken existieren. Kleine private Eigenanlagen werden zudem schon betrieben.

Daran schließt sich die Phase des Aufbaus (1880 - 1914/18) an, welche relativ unbeeinflusst von den politischen Instanzen ablief. Innerhalb dieser - eher aus politischen Gründen eingeteilten - Phase lassen sich zwei Perioden unterscheiden: von 1880 - 1894 die Epoche der Blockstationen und Stadtzentralen mit dem Aufbau der ersten Elektrizitätswerken und daran anschließend die Epoche der Überlandwerke (Übergang Gleichstrom → Dreh-/Wechselstrom) mit einer ersten Kommunalisierungswelle. Die Eigentumsverhältnisse verändern sich, die

kommunalen Gebietskörperschaften sind immer häufiger Träger der Elektrizitätsversorgung.

Der nächste Zeitabschnitt (1918 - heute) lässt sich, an Miller (1936) anlehnend, mit Epoche der Großkraftwerke und Verbundwirtschaft bezeichnen. Diese Phase ist zunächst geprägt von der Kriegswirtschaft und der Energiekrise am Anfang der Weimarer Republik. Der Aufbau von Großkraftwerken stellt die Produktionskapazitäten zur Verfügung, die notwendig sind, um die rapide gestiegene Nachfrage zu decken. Zwischen 1918 und 1945 wird die Energiewirtschaft auf eine gesetzliche Basis gestellt und den Erfordernissen des Zweiten Weltkrieges angepasst. Nach 1945 wurde die im Krieg zerstörte Struktur wieder aufgebaut und weiterentwickelt.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die historische Entwicklung.

Historischer Abriss der Elektrizitätswirtschaft		
1832 - 1880	Zeit der Vorversuche	
1880 - 1894	Blockstationen, Stadtzentralen, erste Elektrizitätswerke	Phase des Aufbaus (Entwicklung relativ unbeeinflusst von den politischen Instanzen)
1895 - 1914/18	Überlandwerke (Gleichstrom → Dreh-/Wechselstrom)	
1918 - 1945	Großkraftwerke Verbundwirtschaft	Energiewirtschaft wird auf eine gesetzliche Basis (EnWG) gestellt
1945 - heute		Wiederaufbau, Weiterentwicklung der Struktur des 3. Reiches

Folgende markante Zeitpunkte seien noch erwähnt:

- 1878 Die erste marktfähige Glühlampe wird von Edison entwickelt
- 1882 In New York wird die erste öffentliche Kraftstation von Edison eingerichtet
- 1900 Durch ruinösen Wettbewerb wird eine "Elektrokrise" ausgelöst und führt zur Diskussion über eine Vereinheitlichung der Energiestruktur
- 1935 Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) wird verabschiedet. Es gilt bis heute
- 1973 Das erste Energieprogramm der Bundesregierung wird vorgestellt.

2. Energiewirtschaftsgesetz

Das Energiewirtschaftsgesetz von 1935, welches noch heute die Grundlage unserer Energieversorgung bildet, beinhaltet folgende zwei Ziele: es soll eine sichere und eine preisgünstige Energieversorgung bereitgestellt werden. Das Gesetz gilt jedoch ausschließlich für die leitungsgebundenen Energieträger Strom und Gas. Das zweite Ziel, die Preisgünstigkeit, wurde auch aus sozialen Gründen mit aufgenommen, da keiner von einer Versorgung mit Energie ausgeschlossen werden sollte. Der erste Punkt, die Versorgungssicherheit, ist auf drei Arten zu verstehen: mengenmäßig, politisch und technisch. Die Abhängigkeit von Importen soll vermindert und Ressourcen geschont werden. Die Energiesysteme sollen außerdem ausfallsicher sein und vor Schäden gesichert werden.

Gerade die Wichtigkeit des Aspektes der Versorgungssicherheit im EnWG von 1935 unterstreicht die Bedeutung der Energiewirtschaft für die Kriegsvorbereitungen der Nationalsozialisten. Die Tarifordnung, welche eine preisgünstige Energieversorgung sicherstellen sollte, wirkte lange Zeit verbrauchsfördernd, da ein Mehrverbrauch durch sinkende spezifische Preise belohnt wurde.

Heute ist ein zweites Ziel hinzugekommen: Die „sachgerechte Abwägung von Umweltschutz in der Energieversorgung“.

Das EnWG beinhaltet zudem eine Betriebs- und Ausschließlichkeitsklausel. Diese besagt, dass ein Energieversorgungsunternehmen (EVU) die Pflicht hat, den Betrieb von Anlagen aufzunehmen und aufrechtzuerhalten (so genannte Versorgungspflicht) und dafür ein Versorgungsmonopol erhält. Innerhalb eines festgelegten Gebietes existiert demnach nur ein einziger Versorger, der die Pflicht hat, jedes noch so abgeschiedene Objekt zu versorgen. Die Gebietskörperschaft vergibt das Alleinversorgungs- und das Wegenutzungsrecht (für öffentliche Wege) und erhält dafür von den EVU eine Konzessionsabgabe, die letztlich der Verbraucher zahlt. Durch die monopolartige Struktur werden die selbstregulierenden Kräfte des Marktes außer Kraft gesetzt - übrigens ganz im Einklang mit dem "Vater" der Marktwirtschaft Adam Smith, welcher für drei Bereiche der Gesellschaft die Marktwirtschaft als unzulänglich beschrieb: äußere und innere Sicherheit sowie Infrastruktur, zu der auch die Energieversorgung gehört. Den Monopolunternehmen wird zwecks Bildung eines Gleichgewichtes der Kräfte die staatliche Preisaufsicht entgegengestellt, welche darüber wacht, dass die EVU „korrekt“ abrechnen und erzielte Gewinne über die Strompreise an die Kunden zurückführen.

Warum gab es bisher noch keine Neuregelung des EnWG? Nach Kristof (1992) sind dafür folgende Gründe verantwortlich: Die nationalsozialistischen und kriegswirtschaftlichen Ziele sind nur sehr verklausuliert enthalten, das EnWG unterstützt prinzipiell große und damit einflussreiche Energieversorgungsunternehmen, es lässt relativ viel Gestaltungsspielraum, nicht zuletzt durch die Verwendung unklarer Begriffe, und die Befürworter einer Neuordnung hatten bislang zu gegensätzliche Vorstellungen, um sich durchsetzen zu können.

3. Stabilitätsgesetz

Das Stabilitätsgesetz (StWG) von 1967 verfolgt in erster Linie politische und volkswirtschaftliche Ziele, die mit dem bekannten magischen Viereck illustriert werden. Dieses besteht aus den Eckpfeilern Stabilität des Preisniveaus, hoher Beschäftigungsstand, außenwirtschaftliches Gleichgewicht und schließlich stetiges und angemessenes Wirtschaftswachstum. Energiewirtschaftliche Ziele sind im StWG nicht explizit genannt und werden damit untergeordnet.

4. Energiepolitik der BRD seit 1945

In der folgenden Tabelle ist eine Übersicht über die Energiepolitik der BRD seit 1945 enthalten.

Tabelle 2: Übersicht der Energiepolitik der BRD seit 1945			
bis 1966	Kohlepolitik	Stabilisierung der heimischen Steinkohle gegenüber preisgünstiger Importkohle	1958 Kohleimport-Genehmigungspflicht und Kohlezoll 1960 Heizölsteuer und SK-Subventionen 1965 Mindestvorräte von Mineralölen
1967 bis 1973	Umstrukturierung	„Gesundenschumpungsprozess“ im Kohlebergbau 1964: 406.000 Beschäftigte 1974: 203.000 Beschäftigte 1997: 90.000 Beschäftigte	Stilllegungsprämien und weiterhin Subventionierung
ab 1973	Erstes energiepolitisches Gesamtkonzept	Energieprogramm der Bundesregierung Hinwendung zur Energiesicherungs politik (ab 1974)	Schwerpunkte: <ul style="list-style-type: none"> • Zurückdrängen von Mineralölanteilen und Importabhängigkeit • Ausbau der KKW's • Erhöhung des Erdgasbezugs • Beibehaltung der Kohlesicherung
1976/1977		Erstes Programm zur Energieeinsparung und rationeller Energieverwendung	
ab 1981			Neue Schwerpunkte: <ul style="list-style-type: none"> • FW-Ausbau (KWK) • Kernenergie nur nach Bedarf • Umweltschutzaspekte

Zu erkennen sind drei grundlegende Epochen: die Zeit der Kohlepolitik, daran anschließend die Zeit der Umstrukturierungsmaßnahmen (weg von der Kohle, diversifizierte Versorgungsstruktur) und schließlich seit 1973 der Versuch eines energiepolitischen Gesamtkonzeptes. (Der dritten und vierten Spalte sind ergänzende Hinweise zu diesen drei Zeitabschnitten zu entnehmen.)

Es ist festzustellen, dass der Versuch eines energiepolitischen Gesamtkonzeptes zu keiner einheitlichen Grundkonzeption geführt hat. Bis 1973, d. h. bis zur ersten Ölkrise, war staatliche Energiepolitik in erster Linie Kohlepolitik (Monopolkommission 1976). Den weiteren Planungen lag die bis dahin gültige Annahme zugrunde, dass sich Energieverbrauch und Produktionsniveau parallel entwickeln - das erwies sich allerdings als Trugschluss. So wurde von einem viel zu hohem Energieverbrauch ausgegangen, in dessen Folge die installierte Kernkraftwerksleistung deutlich zunahm. Erst in der zweiten Hälfte der 70er Jahre begann man, nicht nur über die Versorgungsseite, sondern auch über die Bedarfsseite nachzudenken - dies allerdings in äußerst bescheidenem Umfang: Wie kann Energie gespart bzw. mit weniger Einsatz die gleiche Energiedienstleistung bereitgestellt werden? Trotzdem wurde bis 1981 weiterhin eine reine Angebotspolitik betrieben - unter Missachtung aller Zeichen der Bedarfsseite wurden immer mehr Kernkraftwerke errichtet. Erst seit 1981 fanden Umweltschutzaspekte langsam Eingang in die bundesdeutsche Energiepolitik.

Ein weiteres Kennzeichen der Energiepolitik der BRD sind die verdeckten, aber auch offenen Subventionen in Form von Beihilfen, Förderungshilfen, Finanzhilfen, Steuervergünstigungen, Zuschüssen oder Ausgleichszahlungen. Die Empfänger sind vornehmlich - aber nicht ausschließlich - die Steinkohle und die Kernenergie.

Nach den anfänglichen bereits erwähnten Kommunalisierungswellen hat das EnWG seit 1935 einen starken Konzentrationsprozess erfahren: Existierten 1933 noch 16.000 EVU, so waren es 1955 nur noch 3.000, 1971 1.400 und 1997 sogar nur noch ca. 800 EVU. Angesichts der derzeit im Bundeswirtschaftsministerium diskutierten Energierechtsnovelle wird befürchtet, dass sich der Konzentrationsprozess

verschärft und letztlich nur noch „3 plus x EVU“ übrig bleiben, also die derzeit größten drei und eine kleine Zahl weiterer Unternehmen. Auch wenn diese Befürchtung etwas übertrieben ist, so wird die sog. Rexrodt-Novelle auf keinen Fall zu einer verbraucher- und damit bedarfsnahen Struktur führen. Die umweltfreundliche Kraft-Wärme-Kopplung und die Nutzung erneuerbarer Energien hätten damit energiepolitisch weiterhin das Nachsehen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Evolution des deutschen Energiesystems im Spannungsfeld folgender widerstreitender Zielsetzungen abgelaufen ist:

- Marktwirtschaftliche Selbststeuerung versus politische Intervention
- Preisgünstige Versorgung versus sichere Versorgung
- Nationale Autarkie versus internationale Verflechtung.

5. Klimaproblematik

In diesem Abschnitt soll auf die Klimaveränderungen, deren Ursachen und Folgen, eingegangen werden. In Abbildung 1 ist der Verlauf des atmosphärischen CO₂-Gehalts über die letzten 250.000 Jahre zu erkennen. Die geschlängelte Linie stellt eine starke Vereinfachung dar. In Wirklichkeit schwankten die CO₂-Konzentrationen sehr häufig, d.h. die Linie zeigt nur den Bereich innerhalb dessen die Schwankungen auftraten.

Seit 1800, also seit Beginn der Industrialisierung, steigen die Konzentrationen so massiv an, dass der Maßstab nicht ausreicht, dies zeitlich aufgelöst darzustellen. Heute befinden wir uns bei ca. 360 ppmv. Wenn der bestehende Trend so weitergeht, dann landen wir nach dem Intergovernmental Panel on Climate Change¹⁾ (IPCC 1992) im Jahr 2050 bei einer Konzentration von ca. 500 ppmv.

1) Das IPCC ist ein internationales Expertengremium, welches aus ca. 2.000 Wissenschaftlern besteht. Die Arbeiten des IPCC werden auf allen internationalen Verhandlungen über Klimaschutz als Grundlage genommen und bilden den globalen wissenschaftlichen Konsens.

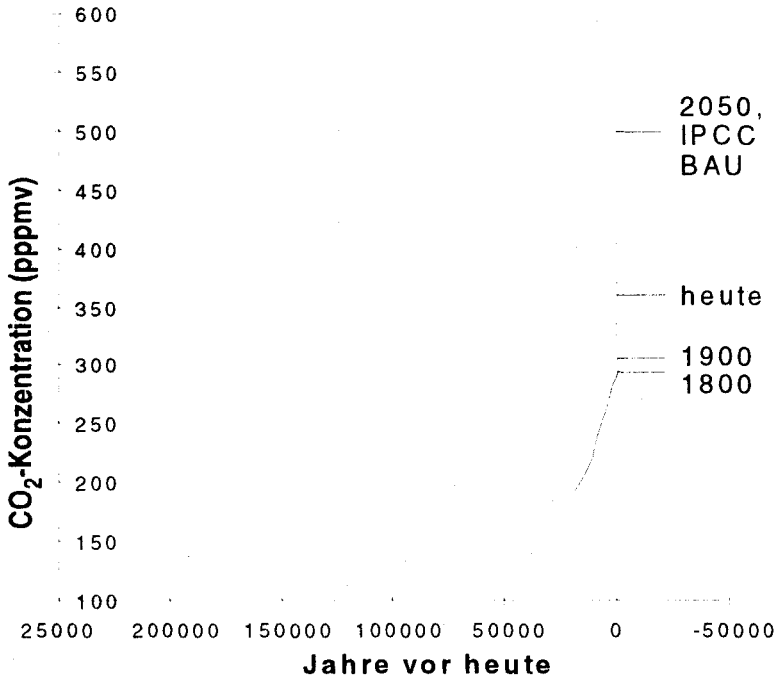


Abb. 1: Verlauf des atmosphärischen CO₂-Gehaltes in den letzten 250.000 Jahren (vereinfacht nach Enquete 1995, BAU = Business as Usual Szenario des IPCC)

Woher kommt die Zunahme der CO₂-Konzentrationen in der Luft? Um dies zu ergründen, sei auf Abbildung 2 verwiesen, in der die weltweiten jährlichen CO₂-Emissionen aus fossilen Verbrennungsprozessen seit Beginn der Industrialisierung dargestellt sind.

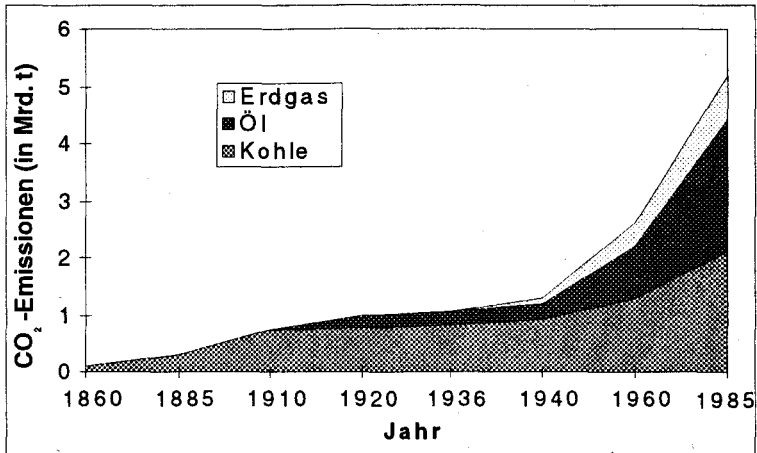


Abb. 2: Die weltweiten jährlichen CO₂-Emissionen aus fossilen Verbrennungsprozessen seit 1860 (vereinfacht nach Enquete 1995)

Zu erkennen ist der rapide Anstieg der CO₂-Emissionen, die in direktem Zusammenhang mit den zuvor erwähnten CO₂-Konzentrationen in der Erdatmosphäre stehen. Eine weitere Korrelation ist zu erkennen, wenn zusätzlich noch die Entwicklung der bodennahen Lufttemperatur dargestellt wird, siehe Abbildung 3.

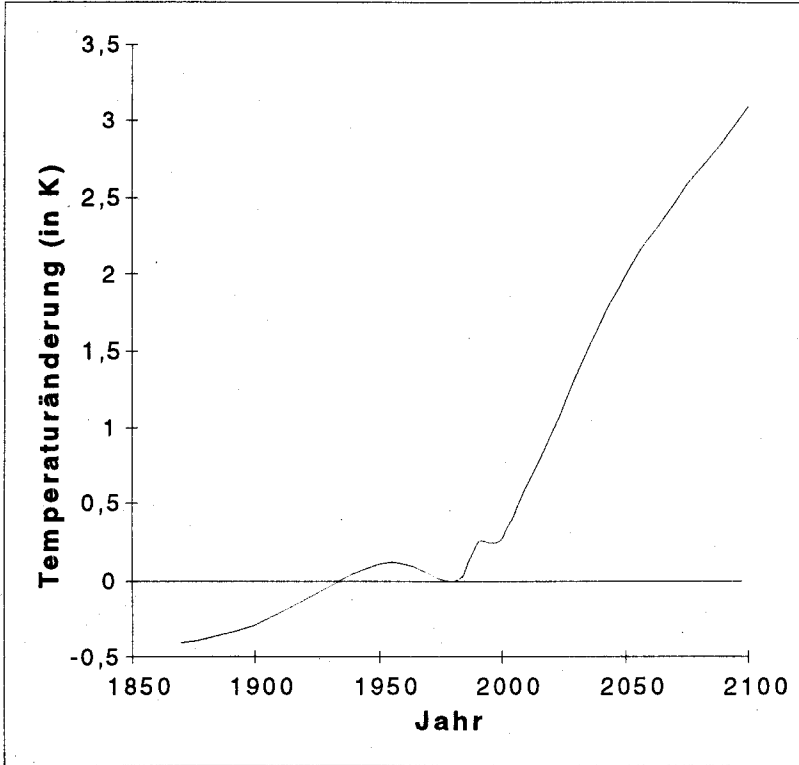


Abb. 3: Verlauf der bodennahen Lufttemperaturen (vereinfacht nach Enquete 1995)

In Abbildung 3 sind die gemessenen Lufttemperaturen von 1870 bis heute zu entnehmen sowie die vom IPCC bis zum Jahr 2100 berechneten. Im Mittel geht das IPCC von 3 K-Steigerung aus, wobei eine Unsicherheit von $\pm 0,3$ K angegeben wird. Ob diese Werte tatsächlich stimmen, ist relativ unerheblich. Denn in der wissenschaftlichen Klimaszene besteht kein Zweifel darüber, dass die Temperaturen steigen werden. Allerdings wären die Folgen eines solchen Temperaturanstiegs enorm. Z.B. wären 80 % der Fläche Bangladeshs durch den zu erwartenden Meeresspiegelanstieg, durch Überschwemmungen, Stürme oder Trockenheiten mäßig, stark oder absolut gefährdet (Bangladesh

Centre 1994). Aber auch die europäischen Staaten wären gefährdet. Auf Grund ihrer enormen ökonomischen und technischen Ressourcen könnten sie allerdings die Folgen minimieren.

Die Ursachen im zusätzlichen, anthropogenen Treibhauseffekt liegen jedoch nicht nur beim CO_2 , sondern auch bei anderen Emissionen. Nach dem IPCC verschuldet CO_2 ungefähr 50 % des anthropogenen Treibhauseffektes, CH_4 19 %, N_2O 4 %, FCKW 15 % sowie andere Spurengase 8 %. Mit anderen Worten: Auf den Energiesektor entfallen ca. 50 % des Treibhauseffektes, auf die Vernichtung des Tropenwaldes 15 %, auf die chemische Industrie 20 % und auf die Landwirtschaft ebenfalls 15 %.

Ferner ist wichtig zu wissen, welche Staaten der Erde zum Anstieg der CO_2 -Konzentrationen welchen Beitrag geleistet haben. Hierbei zeigt sich, dass ca. 22 % der Erdbevölkerung in den Industrieländern ungefähr 84 % des CO_2 -Konzentrationensanstiegs verursachten, während ca. 78 % der Erdbevölkerung in den Entwicklungsländern nur für ungefähr 16 % verantwortlich sind (UNEP/GäMS). Es muss wohl nicht betont werden, welche Staaten in erster Linie in der Pflicht stehen, ihre Emissionsmengen zu mindern. So hat auch die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages in ihrem Abschlussbericht 1995 (Enquete 1995) festgelegt, dass westliche und östliche Industrieländer bis 2050 ihre CO_2 -Emissionsmengen um mind. 80 % reduziert haben müssen. Für den gleichen Zeitpunkt dürfen aus klimapolitischer Sicht die Entwicklungsländer ihre Emissionsmengen um 70 % erhöhen. Würden diese Rahmendaten eingehalten, dann reduzierten sich die CO_2 -Emissionsmengen weltweit um ca. 50 %, womit die Reduktionsempfehlungen des IPCC verwirklicht wären.

6. Energiemodelle der Zukunft

Im Folgenden werden einige Aspekte vorgestellt, wie man der "Klimafalle" entkommen kann. Diese stellen allerdings nur einen kleinen Ausschnitt eines denkbaren Maßnahmenpaketes dar. Sie sollen daher lediglich eine Vorstellung davon vermitteln, wie einige Eckpfeiler einer

zukunfts-fähigen Energieversorgung aussehen. Zuerst wird ein Szenario vorgestellt, welches sich mit der weltweiten Energieversorgung beschäftigt, und danach wird der Fokus auf die Bundesrepublik Deutschland gerichtet.

Energieszenarien sind vereinfachte, möglichst widerspruchsfrei konstruierte, modellhafte Bilder technisch möglicher zukünftiger Energiesysteme. Sie dienen der Veranschaulichung und besseren Transparenz der Wechselwirkungen in komplexen Systemen und zeigen - mit unterschiedlichen Annahmen und Zielsetzungen - Strategiealternativen und Handlungsspielräume auf.

Globale Szenarien

Aus der Fülle an Energieszenarien möchte ich mich auf die Analyse eines Szenarios des World Energy Council (WEC) beschränken: Auf der WEC-Konferenz in Tokyo im Oktober 1995 wurde das so genannte C1-Szenario vorgestellt. Es handelt sich um ein langfristiges Szenario (bis 2050 bzw. 2100), das erstmalig im Rahmen der WEC der Frage nachging, ob eine risikomindernde „zukunfts-fähige“ Energiestrategie weltweit möglich ist (WEC/IIASA 1995). Das Ergebnis, zu dem die WEC, die weltweit größte Energieanbieter-Konferenz, kommt, ist geradezu sensationell. Im 21. Jahrhundert können die anspruchsvollen Ziele einer Weltklimaschutzpolitik, wie z.B. die Begrenzung des Anstiegs der CO₂-Konzentration auf unter 450 ppm und globaler Temperaturanstieg um etwa 1,5 °C gegenüber 1990 im Wesentlichen erreicht werden, und gleichzeitig ist dabei der Ausstieg aus der Atomenergie realisierbar. Allerdings wird eine ausreichende CO₂-Reduktion (um rund zwei Drittel gegenüber 1990) erst deutlich nach 2050 erreicht. Das Szenario geht auch davon aus, dass zunächst bis 2020 die Atomenergie noch ausgebaut und erst danach bis auf Null im Jahre 2100 zurückgefahren wird. In Entwicklungsländern wird unverständlicherweise von einem Ausbau der Atomenergie bis auf das Dreifache des heutigen Wertes ausgegangen, bevor bis zum Jahr 2100 auch hier die nuklearen Kraftwerksstrukturen auf Null gebracht werden sollen.

Auch wenn einzelne Strategieelemente des C1-Szenarios im Hinblick auf Risikominimierung und CO₂-Reduktion noch fragwürdig sind und überdacht werden müssen, so steht dieses Szenario im krassen Gegensatz zu den sonst üblichen angebotsorientierten Welt-Energieszenarien, welche ausnahmslos risikokumulierende Effekte aufweisen: Mehr CO₂-Emissionen („Treibhauseffekt“), mehr Atomenergie („Supergau“) und mehr Ölverbrauch („Krieg um Öl“)! Heute wissen wir: Strategien, die die Welt-Energieprobleme durch ein steigendes fossiles bzw. nukleares Energieangebot und immer aufwendigere Diversifizierung des Angebotsmix zu lösen versuchen, sind mit den Zielen einer Klimastabilisierungs- und Risikominimierungspolitik prinzipiell nicht vereinbar (Hennicke/Wolters 1996).

Der WEC hat seine neuesten Erkenntnisse hinsichtlich der Bewertung von Investitionskosten und Realisierungschancen in sechs neuen Szenarien vorgelegt.

Die kumulierten Investitionskosten des C1-Szenarios liegen für den Zeitraum 1990 bis 2050 um 40 % bzw. um 47 % unter den entsprechenden Investitionskosten der übrigen fünf risikokumulierenden Szenarien (A1, A2, B 1, B 2 und C2), welche ebenfalls im Rahmen der WEC-Konferenz 1995 vorgestellt wurden. Die Investitionen auf der Verbrauchsseite wurden allerdings bei keinem Szenario explizit beziffert. Im Abschlussbericht wird lediglich ausgeführt, dass auf die Investitionskosten 50 bis 100 % aufgeschlagen werden müssen, jedoch ohne Angaben, auf welches Szenario 50 % und auf welches 100 %. Rechnet man für das Szenario C1 den schlechtesten Fall, also 100 % Investitionskosten zusätzlich auf das Szenario C1 und 50 % jeweils auf die übrigen Szenarien, so bleiben die kumulierten Investitionskosten für C1 immer noch um 10 % - 23 % hinter den anderen risikokumulierenden Szenarien zurück. Außerdem entfallen auf den Verbraucher keine weiteren laufenden Energiekosten. Die These erscheint daher gerechtfertigt, dass das risikominimierende C1-Szenario auch in wirtschaftlicher Hinsicht das vorteilhaftere ist.

Die Autoren weisen daraufhin, dass trotz des langen Zeithorizonts die Richtungsentscheidungen für den einzuschlagenden Zukunftspfad

notwendig sind, weil sich die in den Szenarien abgebildeten Strategien in wenigen Jahrzehnten wechselseitig ausschließen und die Kapitalbindungszeiten im Energiesystem in der Regel mehrere Jahrzehnte betragen. Hinsichtlich der Realitätsnähe der 6 Szenarien wird ausdrücklich betont: „Alle werden für durchführbar gehalten. Aber keines geht davon aus, dass die Entwicklungen selbstverständlich eintreten werden“ (WEC/IIASA 1995, 2).

Die Botschaft der Energieanbieter-Konferenz ist eindeutig: Eine weltweite Strategie der Risikominimierung ist technisch möglich und finanzierbar. Allerdings müssten sich Energiemanager, Politiker und wir alle bald gegen die derzeitigen Katastrophentrends und für ein zukunftsfähigeres Energiesystem entscheiden.

Es muss überraschen, dass diese Erkenntnis aus den WEC-Szenarien nicht nur bisher weitgehend folgenlos geblieben ist, sondern dass die ungebremsten Katastrophentrends von einer Mehrheit von Energiepolitikern und Managern noch immer als realistischere Energiepolitik nicht nur hingenommen, sondern auch aktiv befürwortet werden. In energiepolitischen Diskussionen müssen sich offenbar die Befürworter eines verschwenderischen, katastrophenträchtigen und nur scheinbar billigen Energiepreissystems für die Schäden und Risiken eines unnötigen Energieverbrauchs nicht rechtfertigen. Im Gegenteil, wer, wie nun auch der WEC in seinem C1-Szenario, den Übergang zu einer Energiespar- und Solarenergiewirtschaft, nicht nur für wünschbar hält, sondern auch als machbar nachweist, muss sich von den etablierten Energiepolitikern und Managern den Vorwurf der Realitätsferne und Utopie gefallen lassen. Es ist schon eine seltsame Verkehrung der Realität, wenn einerseits die Inkaufnahme von mehr Kosten und Katastrophen als energiepolitisch vertretbar, andererseits aber die volkswirtschaftlich vorteilhaftere Risikominimierung als illusionäre Politik dargestellt wird.

Welche Maßnahmen müssen in der kommunalen Energiepolitik ergriffen und welche Hemmnisse überwunden werden, um das globale und abstrakte Ziel des Klimaschutzes und der Risikominimierung zu erreichen? Oder anders formuliert: Wie können die theoretischen Mo-

delle von der globalen Ebene auf die nationale und kommunale Ebene, und damit auf die Handlungsebene transformiert werden? Folgende Maßnahmen werden vom WEC u.a. vorgeschlagen²⁾:

- Einführung einer ökologischen Steuerreform
- Weltweite Umsetzung der „Integrierten Ressourcen Planung“ (IRP)
- Umwandlung der Energieversorgungsunternehmen in Energiedienstleistungsunternehmen
- Effizienzsteigerung
- Abnahme des Anteils kohlenstoffreicher Energieträger (wie Kohle)
- Dezentralisierte Versorgungsstruktur
- Massive Umschichtungen von Geldern und Know-how aus den Industrieländern in die Entwicklungsländer.

Neben dem erwähnten weltweiten Ausstieg aus der Atomenergie bis zum Jahr 2100 ergibt sich nach Ansicht der WEC, dass der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch bis 2050 um 40 % und bis 2100 um 80 % steigt, und dass sich der Primärenergieverbrauch bis 2050 um knapp das Doppelte und bis 2100 um knapp das Dreifache erhöht. Die Effizienzpotentiale werden hierbei allerdings nicht ausgeschöpft, die Energieproduktivität wächst trendgemäß pro Jahr nur um 1,4 %. Auch wenn also einige Strategieelemente im C1-WEC-Szenario noch nicht zufrieden stellend sind, so zeigen sich doch erste Ansätze für zukunftsfähige globale Energiemodelle.

Szenarien für die BRD

Auch für die BRD liegen eine Reihe von Szenarien vor, von denen jedoch nur wenige das Reduktionsziel bis zum Jahr 2050 erreichen und die, die es erreichen, sind wenig valid.

2) Hierbei handelt es sich natürlich nur um eine Auswahl und nicht um eine abschließende Auflistung von Maßnahmen; interessant ist, dass eine neue Studie der UNDP unter stärkerer Betonung der Entwicklungspolitik zu ganz ähnlichen Forderungen kommt, der z.B. den Kapital-, Technik- und Know-How-Transfer von Nord nach Süd noch stärker betont. Vgl. UNDP (United Nations Development Programme): UNDP Initiative for Sustainable Energy. Genf. Juni 1996.

Nunmehr wurde mit der Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ erstmalig ein Szenario vorgestellt, welches die Energieversorgung der BRD in seiner ganzen Breite thematisiert (Wuppertal Institut 1995). Folgende Aspekte des Szenarios sollen beispielhaft erläutert werden.

Sektor Energiewirtschaft

Bevor über die Versorgung mit anderen Energieträgern, also beispielsweise erneuerbaren Energien, entschieden wird, sollten die Möglichkeiten des Energiesparens bzw. der rationellen Energieverwendung ausgelotet werden. In Deutschland besteht ein technisches Einsparpotential von ca. 45 % der Primärenergie und ein wirtschaftliches von immerhin 30 %³⁾. Durch Nutzen dieses wirtschaftlichen Potentials ergäbe sich für die Volkswirtschaft neben den positiven ökologischen Aspekten eine Energiekosteneinsparung von rund 70 Mrd. DM/a.

Ein Beispiel für eine rationellere Verwendung von Energie stellt die so genannte Kraft-Wärme-Kopplung dar. Bisher werden Strom und Wärme getrennt produziert: Strom über Atom- oder konventionelle Kondensationskraftwerke (mit Kohle, Öl, oder -seltener- Gas befeuert) und (z.B. für private Haushalte) in dezentralen Öl- oder Gasheizungssystemen. Bei dem durchschnittlichen bundesdeutschen Kraftwerkswirkungsgrad von 36 % für die Stromerzeugung und einem Wirkungsgrad von 90 % eines Niedertemperaturkessels zur Wärmeherzeugung müssen 159 Teile Primärenergie eingesetzt werden, um 34 Teile Strom und 53 Teile Wärme zu produzieren. 72 Teile der Primärenergie gehen also dabei verloren. Um die gleichen Teile Strom und Wärme zu produzieren, benötigt eine Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage lediglich 100 Teile Primärenergie, also ungefähr 40% weniger. Dies liegt darin begründet, dass KWK-Anlagen den bei der Stromproduktion ent-

3) Mit 'Technisches Potential' ist das Potential gemeint, welches sich mit der heute verfügbaren Technik (Stand der Technik) erschließen läßt. Mit moderner Technologie kann dieses Potential also durchaus steigen. 'Wirtschaftliches Potential' bezeichnet das Potential, was technisch erschließbar und betriebswirtschaftlich rentabel ist. Dieses Potential hängt stark von den Energiepreisen ab. Steigen diese, so steigen auch die wirtschaftlichen Potentiale für Einsparung und Erneuerbare Energien - im Extremfall bis zur Höhe der technischen Potentiale.

stehenden hohen Wärmeanteil, der sonst verloren ginge, nutzen und diesen als Nutzenergie an die Kunden abgeben.

Oft wird in Bezug auf die Nutzung erneuerbarer Energien argumentiert, dass die Potentiale nicht hoch genug seien. In der Vergangenheit wurden eine Reihe von Potentialanalysen gemacht (Kaltschmitt/Wiese 1993), die alle zu dem gleichen Ergebnis kommen: Der heutige Stromverbrauch von ca. 450 TWh kann über erneuerbare Energie zu etwa 200 % gedeckt werden, der heutige Wärmeverbrauch von ca. 1.300 TWh jedoch nur zu etwa 75 %. Bei dieser Betrachtung müssen die verfügbaren Dachflächen teilweise doppelt vergeben werden (Photovoltaik/Solarthermie). Ansonsten sind die angegebenen Werte wiederum technische Potentiale, d.h. es wurden nur Dachflächen einberechnet, die eine entsprechende Lage und auch Nähe zum Verbraucher besitzen (also keine Nutzung von Randbegrünungen von Autobahnen o.Ä.). Wenn die oben genannten Einsparpotentiale erschlossen werden, so ergeben sich keinerlei Potentialschwierigkeiten.

Verkehr

Dieser Sektor wird in Zukunft im Hinblick auf CO₂-Emissionen das größte Problem darstellen (vgl. Wuppertal Institut 1993, Petersen/Schallaböck 1995). Er kann im Rahmen dieses Beitrages nur an einem Beispiel behandelt werden, dem CarSharing. Beim CarSharing teilen sich auf Mietbasis mehrere Menschen ein oder mehrere Autos, die von einer Organisation verwaltet werden. CarSharing-Organisationen arbeiten in der Regel kostenneutral und erwirtschaften keine Gewinne, sie sind damit natürlich preiswerter als übliche Autoverleiher. Untersuchungen über die Nutzungsgewohnheiten von Stattaautos zeigen, dass Transporte von Gütern zwar wie zuvor mit dem eigenen Auto durchgeführt werden, bei Arzt und Behördengängen z.B. werden dem gegenüber in hohem Maße andere Mobilitätsmöglichkeiten genutzt. Abbildung 4 zeigt die prozentuale Nutzung des Stattaautos in Relation zur Nutzung des eigenen Autos.

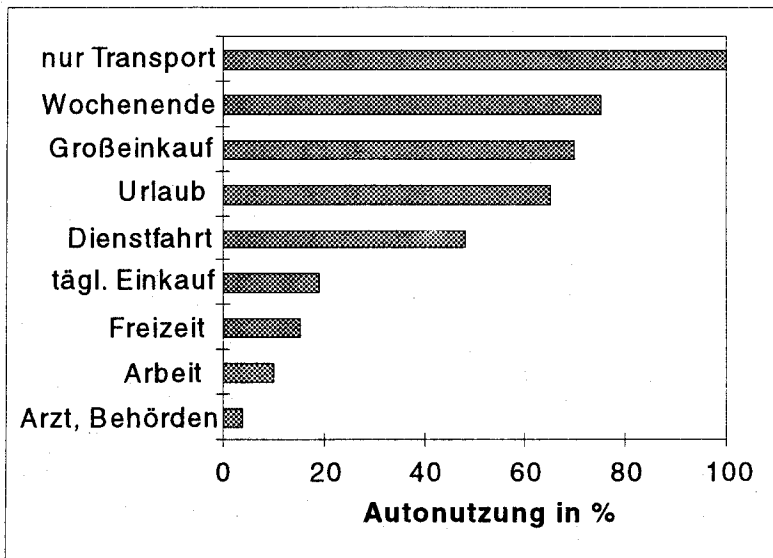


Abbildung 4: Nutzung des Stattdautos in Relation zur Nutzung des eigenen Autos

Produktionsweisen

Auch in Hinblick auf die heutigen Produktionsstrukturen ergeben sich große Einsparpotentiale. So kommt eine Untersuchung des Wuppertal Institutes (Böge 1993) zu dem Ergebnis, dass für die Produktion eines Erdbeerjoghurts ca. 8.500 km gefahren werden. Dieser Wert ließe sich bei einer intelligenten Organisation um den Faktor 4 vermindern. Die Dienstleistung bliebe demnach die gleiche und die eingesetzte Energie würde vierfach rationeller eingesetzt. Dies benennt Ernst Ulrich von Weizsäcker mit Effizienzrevolution.

Landwirtschaft

Als letzter Punkt sei hier die landwirtschaftliche Produktion genannt. Heutige konventionelle Betriebe verbrauchen durchschnittlich rund 19 GJ/ha für Dünger und mechanische Bearbeitung. Durch den Umstieg auf eine ökologische Betriebsweise, wie sie z. B. von Demeter oder Bioland vertreten wird, reduziert sich der Energiebedarf auf rund 7 GJ/ha. Da im Ökologischen Landbau die Erträge um rund 15 bis 20 % pro Hektar geringer sind, muss dies noch auf den Energiebedarf aufgeschlagen werden. Zusammenfassend lässt sich damit der Energiebedarf der konventionellen Landwirtschaft über die Umstellung auf ökologischen Landbau um rund 50 % vermindern.

Strategien

Um eine umweltverträgliche und risikoarme Energieversorgung zu erreichen, sind - ohne Anspruch auf Vollständigkeit - folgende Strategien zu verfolgen:

- Effizienzrevolution/Energieeinsparung
- Nutzung erneuerbarer Energien
- Ausstieg aus der Kernenergie
- Dezentralisierung
- Eingeschränkter Individualverkehr
- Neue Produktsysteme und
- Ökologische Landwirtschaft/Naturnaher Waldbau. Aber auch
- Ökologisierung unseres Wirtschaftens (Stichwort „Ökologische Steuerreform“ und Suffizienz/Neue Lebensstile).

Jede dieser Strategien ist für sich genommen kein Königsweg. Verfolgt man sie zusammen, so ergänzen sie sich hervorragend. Über Strategien und Zukunftstechnologien vgl. v. Weizsäcker 1995, Müller/Hennicke 1994 und 1995, Hennicke/Seifried 1996, Hennicke/Wolters 1996, Kaltschmitt/Fischedick 1995, Lehmann/Reetz 1995 oder Wuppertal Institut 1995.

Abschließen möchte ich mit einem Zitat von E. F. Schumacher aus seinem Buch „Small is beautiful“:

"Über die Zukunft zu sprechen ist nur dann sinnvoll, wenn daraus jetzt ein Handeln wird".



Literatur

- ◆ Böge, S.: Erfassung und Bewertung von Transportvorgängen: Die produktbezogene Transportkettenanalyse. In Läßle, D. (Hrsg.): Güterverkehr, Logistik und Umwelt. Berlin 1993
- ◆ Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages: Mehr Zukunft für die Erde - Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz, Bundestagsdrucksache 12/8600, Bonn 1995
- ◆ Hennicke, P., Seifried, D.: Das Einsparkraftwerk - eingesparte Energie neu nutzen. Basel 1996
- ◆ Hennicke, P., Wolters, D.: Globale und kommunale Energiemodelle der Zukunft. In: Kao, T. (Hrsg): Zukunft der Infrastrukturen, in Vorbereitung
- ◆ IPCC: Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge 1992
- ◆ Kaltschmitt, M., Fishedick, M.: Wind- und Solarstrom im Kraftwerksverbund. Möglichkeiten und Grenzen. Heidelberg 1995
- ◆ Kaltschmitt, M., Wiese, A.: Erneuerbare Energieträger in Deutschland, Potentiale und Kosten. Berlin 1993
- ◆ Kristof, K.: Dezentralisierung in der Energiewirtschaft. Frankfurt/M. 1992

- ◆ Lehmann, H., Reetz, T.: Zukunftsenergien. Strategien einer neuen Energiepolitik. (Wuppertal Paperback). Basel 1995
- ◆ Miller, R. v.: Ein Halbjahrhundert deutsche Stromversorgung aus öffentlichen Elektrizitätswerken, Technikgeschichte, 25. Düsseldorf 1936
- ◆ Monopolkommission: Mehr Wettbewerb ist möglich. Hauptgutachten 1973/1975. Baden-Baden 1976
- ◆ Müller, M., Hennicke, P.: Wohlstand durch Vermeiden. Mit der Ökologie aus der Krise. WBV, WB Forum Bd. 87. Darmstadt 1994
- ◆ Müller, M., Hennicke, P.: Mehr Wohlstand mit weniger Energie. Einsparkonzepte, Effizienzrevolution und Solarenergie. WBV, WB Forum Bd. 95. Darmstadt 1995
- ◆ Petersen, R., Schallaböck, K.O.: Mobilität für morgen. Chancen einer zukunftsfähigen Verkehrspolitik. Basel 1995
- ◆ Schumacher, E. F.: Small is beautiful. Die Rückkehr zum menschlichen Maß. München 1973
- ◆ UNEP/GEMS: Information Unit on Climate Change, Fact Sheet 109. New York 1992
- ◆ WEC/IIASA: Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond. London 1995
- ◆ Weizsäcker, E. U. v., Lovins, A. u. H.: Faktor 4. Doppelter Wohlstand - halbiertes Naturverbrauch. Der neue Bericht an den Club of Rome, München 1995
- ◆ Wuppertal Institut: Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Im Auftrag von BUND und Misserior. Basel 1995

Arnim von Gleich

Natur als Mitproduzentin

1. Nachhaltigkeit als Ziel

Sustainable Development, nachhaltige Entwicklung hat sich seit der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio als integrierte gesellschaftliche Zielperspektive durchgesetzt. Auch wenn viele in der Umweltpolitik Engagierte dazu tendieren, unter dem neuen Banner mit unveränderten Inhalten weiterzumachen, so umfasst das Nachhaltigkeitsziel doch weit mehr als Umweltpolitik. Es geht um soziale, ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit und Zukunftsfähigkeit. Mit Bericht der Brundtland-Kommission 'Our Common Future' von 1987 wurde der Begriff Nachhaltigkeit zum ersten Mal international bekannt:

'Nachhaltig ist eine Entwicklung, wenn sie gewährleistet, dass die Bedürfnisse der heutigen Generation befriedigt werden, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zur Befriedigung ihrer eigenen Bedürfnisse zu beeinträchtigen'.

Es geht also vornehmlich um die Menschen, um gleiche Entwicklungschancen, um inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit. In der auf Rio folgenden wissenschaftlichen Debatte spielten folgerichtig auch die Vertreter der Ökonomie, insbesondere der 'ecological economics' (Daly, Costanza u. a.), eine wichtige Rolle. Natur wird dort hauptsächlich als 'Naturkapital' thematisiert. Es geht um den Erhalt und um gleiche Zugangsmöglichkeiten zum 'Naturkapital'. 'Nur von den Zinsen der Natur leben und nicht das Naturkapital aufzehren' lautet die Vorgabe.

Natur kommt hier nur als Natur für die Menschen in den Blick, wobei noch verschiedene 'Funktionen der Natur für den Menschen' unterschieden werden:

1. Die Produktionsfunktion (v.a. Ressourcen)
2. Die Trägerfunktion (Standorte und Senken)

3. Die Informationsfunktion (Orientierung)
4. Die Regelungsfunktion (Gleichgewicht) und
5. Die Ästhetische und Erholungsfunktion (vgl. Enquête-Kommission 1997)

Damit Sustainability nicht als abstraktes Ziel im Allgemeinen verbleibt, auf das man sich sehr schnell einigen kann, ging es in der Folge von Rio darum, den formulierten Anspruch auf Nachhaltigkeit und Zukunftsfähigkeit, auf gleiche Entwicklungsmöglichkeiten zu konkretisieren und zu operationalisieren. Schon in Rio waren erste Managementregeln für den Umgang mit dem Naturkapital formuliert worden. Die Enquête-Kommission 'Schutz des Menschen und der Umwelt' des Deutschen Bundestags hat diese Regeln ergänzt und präzisiert:

1. 'Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll deren Regenerationsrate nicht überschreiten. Dies entspricht der Forderung nach Aufrechterhaltung der ökologischen Leistungsfähigkeit, d. h. (mindestens) nach Erhaltung des von den Funktionen her definierten ökologischen Realkapitals.
2. Nicht-erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht-erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.
3. Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, wobei alle Funktionen zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt auch die 'stille' und empfindlichere Regelungsfunktion.
4. Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muss im ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmaß der für das Reaktionsvermögen der Umwelt relevanten natürlichen Prozesse stehen' (Enquête-Kommission 1994).

Natur wird als Quelle für Ressourcen und als Senke für Reststoffe von Produktionsprozessen der Menschheit gesehen. Wenn die Menschheit dauerhaft Wirtschaften will, muss sie zu regenerierbaren Stoff- und Energiequellen übergehen, muss diese unterhalb deren Regene-

rationsrate nutzen, ansonsten hochwertiges Recycling betreiben und darf dabei die Aufnahmekapazität der Senken nicht überstrapazieren.

Doch selbst für eine humanzentrierte Sichtweise auf die ökologischen Probleme sind mit dieser Konzentration auf Stoff- und Energieströme, auf das Input-Out-Verhältnis zwischen Mensch und Natur, noch nicht einmal alle für Nachhaltigkeit wesentlichen Aspekte angesprochen. Völlig unberücksichtigt bleiben alle potentiellen Risiken und alle ökologischen Probleme, die nicht in einem direkt proportionalen Verhältnis zur Menge der umgesetzten Stoffe und Energien stehen. Keine Mehrheit fand z.B. in der derzeitigen Enquête-Kommission ein - sich auf Vorbilder aus der Schweiz und des Sachverständigenrats für Umweltfragen stützender - Vorschlag für eine 5. Managementregel zur Operationalisierung des Vorsorgeprinzips:

'Unfallrisiken mit Auswirkungen auf Mensch und Biosphäre sind nur soweit zulässig, als sie auch beim größten möglichen Schadensereignis keine dauerhaften Schäden über eine Generation an Menschen, Pflanzen, Tieren und Ökosystemen verursachen können (IDARio 1995, Enquête-Kommission 1997, Sondervotum S. 27).

1.1 Natur als Grenze

Zu den interessantesten Versuchen einer Präzisierung und Operationalisierung des Nachhaltigkeitsziels gehört sicher das Konzept des Umweltraums. In diesem Konzept liegt ein großer Teil des Reizes, den die Nachhaltigkeitsdebatte auf diejenigen ökologisch Engagierten ausübt, die auch vorher schon von den ökologischen Notwendigkeiten her, von der naturwissenschaftlich-technischen (wohl auch eher 'technokratischen') Seite her argumentierten. Wenn alle Menschen den gleichen Zugang zum Naturkapital haben sollen, dann kann man das Ziel doch errechnen, dann muss man einfach das Überschusspotential der Naturproduktivität (die 'Zinsen des Naturkapitals') abschätzen und dieses Ergebnis dann durch die Zahl der Köpfe der Weltbevölkerung teilen. Dann ist klar, wie viel jedem zusteht. Und genauso kann man bei der Aufnahmekapazität der Senken vorgehen. Man kann -

wie es das 'Intergovernmental Panel on Climate Change' (IPCC) getan hat - konstatieren, dass die Erwärmung der Erdatmosphäre ohnehin nicht aufzuhalten sei, dass sie aber auf eine Veränderungsrate beschränkt werden kann und muss, die den sozialen und ökologischen Systemen auf der Erde eine Chance für Anpassungsprozesse ohne allzu große Friktionen lässt (das könnte auf eine globale Erwärmung um $1/10$ °C in 100 Jahren hinaus laufen). Auf dieser Basis kann man dann ausrechnen, wie viel fossiles CO_2 pro Jahr global noch emittiert werden darf, damit diese Veränderungsrate eingehalten werden kann. Dann teilt man diese CO_2 -Menge durch die Zahl der Weltbevölkerung und kommt auf einen Wert von 1 - 2 Tonnen pro Kopf und Jahr. In den Industrienationen wurden aber pro Kopf 1990 über 13 t/a emittiert, also müssen wir unsere Emissionen um ca. den Faktor 7 - 13 senken (vgl. WBGU 1995, IPCC 1996). Oder man kann, wie Rees es gemacht hat, überschlagsweise abschätzen, wie viel öko-produktive Landwirtschaftsfläche pro Kopf der Bevölkerung nötig wäre, wenn wir alle unsere Bedürfnisse auf der Basis nachwachsender Rohstoffe befriedigen würden. Er kommt zum Schluss, dass wir global noch zwei zusätzliche 'Erden' bräuchten, und dass die Industrienationen zwischen dem 14 - 22fachen ihrer derzeit genutzten Flächen für ihre Bedürfnisse benötigen würden (vgl. Rees 1994). Mittlerweile werden in der Nachhaltigkeitsdebatte für die verschiedensten Stoff- und Energieströme und den Flächenverbrauch in den Industrienationen Reduktionen um den Faktor 10 (in den nächsten 10 - 30 Jahren) als grobe Leitmarke propagiert. Womit aber nicht behauptet werden soll, dass diese Vorschläge bei allen an der Debatte Beteiligten auf Zustimmung stoßen.

Natur kommt in der bisherigen Debatte über Nachhaltigkeit vornehmlich als 'Grenze' ihrer Nutzbarkeit bzw. Ausbeutbarkeit für den Menschen in den Blick. Die Produktivität (und Belastbarkeit) der Natur gilt als berechenbare Grenze, als naturwissenschaftlich begründbare Leitplanken, innerhalb denen wir uns in Zukunft bewegen müssen. Es handelt sich dabei um ein faszinierendes Konzept nicht nur für Techno- und Ökokraten. Schließlich müssen wir davon ausgehen, dass es diese Grenzen für unsere Eingriffsmöglichkeiten in Natur tatsächlich gibt. Die ökologischen Probleme und Katastrophen der Vergangenheit

und Gegenwart geben schließlich ein beredtes Zeugnis davon ab. Die Natur weist uns immer wieder in die Schranken, zeigt uns ihre Grenzen, diktiert uns ihre Bedingungen. Und den Naturwissenschaftlern kommt dann die überlebenswichtige Aufgabe zu, diese Grenzen zu erfassen. Aber ist dieses faszinierende Konzept auch realisierbar, kann es leisten, was es verspricht, die Sicherung des Überlebens der Menschheit? Sind die Grenzen unserer Eingriffsmöglichkeiten in Natur im Voraus erkennbar?

Die Erkenntnisprobleme sind nicht zu übersehen. Auf der Seite der Quellen scheint das nötige Wissen noch einigermaßen erfassbar zu sein. Die Abschätzung der 'Zinsen des Naturkapitals', der Produktivität der globalen Natur und damit des Spielraums für eine nachhaltige Ressourcennutzung erfordert eine Abschätzung der globalen Sonneneinstrahlung, eine Abschätzung der globalen Biomasseproduktion und des davon nachhaltig nutzbaren Anteils auf der Basis land-, forst- und wasserwirtschaftlich nutzbarer Flächen und schließlich eine Abschätzung der maximal zulässigen Rate des Verbrauchs neuer mineralischer Ressourcen und damit Vorgaben für die zu erzielende Recyclingrate bei nicht regenerierbaren Stoffen. Hier gibt es erste diskutierbare Ergebnisse. Die großen Knappheiten werden ihnen zufolge nicht im Energiebereich liegen, der derzeit immer noch im Zentrum der Debatte steht, sondern im Stoffbereich und bei den Flächen. Schließlich ist nicht die globale Sonneneinstrahlung der limitierende Faktor für die Nutzung dieser regenerativen Energiequelle (die Einstrahlung liegt derzeit um den Faktor 10.000 über dem, was die Menschheit global technisch-gesellschaftlich umsetzt), der limitierende Faktor ist eher der materielle (und Flächen-) Aufwand, der für die Gewinnung und Nutzung dieser regenerativen Energiequelle betrieben werden muss. Allerdings gilt es auch zu beachten, dass die Ökoproduktivität der globalen land-, forst- und wasserwirtschaftlich nutzbaren Flächen keine feste Größe ist. Diese Grenze ist verschiebbar! Die (Bio-)Produktivität der Natur kann (wie der ökologische Landbau zeigt) durchaus auch in einer vergleichsweise nachhaltigen Weise gesteigert werden. Was wir nicht wissen (können) ist, bis zu welchem Ausmaß und mit welchen Konsequenzen dies geschehen kann.

1.3 Noch-Nicht-Wissen und Nicht-Wissbarkeit

Im Vergleich zu unserem möglichen Wissen über die Grenzen der Nutzbarkeit regenerativer Stoff- und Energiequellen, können wir nämlich über die andere Seite, über die Grenzen der Belastbarkeit der Natur, sehr viel weniger wissen. Vergleichsweise einfach erscheinende Berechnungen wie die beim Treibhauseffekt geschilderten, sind eher Sonderfälle, denen zudem bei genauerem Hinsehen viele extrem unsichere Annahmen in den derzeitigen globalen Klimamodellen zugrunde liegen. Vergleichbares gilt auch für die Konzepte zur Bestimmung einer 'carrying capacity' für Ökosysteme und für 'critical loads' beim Eintrag versauernder Substanzen oder von Nährstoffen. Zum Entsetzen vieler Ökologen werden für die Berechnung dieser 'critical loads' (deren Ergebnisse wir nichtsdestotrotz gerne aufnehmen und in unsere Argumentationen einbauen) ganze Ökosysteme in einer einzigen Differentialgleichung dargestellt.

Doch das Problem liegt nicht nur in unserem noch unzureichenden Wissen. Hinsichtlich unserer Wissensmöglichkeiten über die Belastbarkeit von Ökosystemen gibt es nämlich nicht nur relative Grenzen im Sinne eines Noch-Nicht-Wissens, das durch Aufwand an Geld, Zeit und qualifizierten Menschen zumindest im Prinzip beseitigt werden kann. Es gibt viel weitergehend auch absolute Grenzen der Nicht-Wissbarkeit. Die Folgen von Eingriffen in komplexe und dynamische Systeme sind prinzipiell nicht prognostizierbar. Das liegt nicht an unserem noch unzureichenden Wissen, sondern an der 'Architektur' dieser Systeme, an ihrer Komplexität und Dynamik. Und hochkomplexe dynamische Systeme sind in der Realität eher die Regel als die Ausnahme. Der Ökosystemtheoretiker Holling spricht angesichts des illusionären Versuchs, ihre Reaktionen auf Eingriffe zu prognostizieren von 'inherent unknowability' (Holling 1994). Die Natur nur soweit zu belasten, wie wir glauben zu wissen, dass wir sie belasten dürfen, ist also eine sehr riskante Strategie. Sie ist mit dem zur Zukunftsfähigkeit unbedingt dazugehörenden Vorsorgeprinzip nicht vereinbar.

Natürlich bleiben unsere - meist auf schlechten Erfahrungen beruhenden - bisherigen Erkenntnisse über die Natur als Grenze in Bezug auf Quellen und Senken wichtige Orientierungspunkte. Die grobe Leitlinie, dass unser derzeitiger Lebens- und Wirtschaftsstil nicht global verallgemeinerbar ist, und dass, um nachhaltiges Wirtschaften zu erreichen, die Industrienationen ihren Pro-Kopf-Verbrauch von Stoffen und Energie auf ca. ein Zehntel ihrer derzeitigen Umsätze herunterschrauben müssen, ist wohl kaum von der Hand zu weisen, bei allen Unsicherheiten, die mit solchen Margen verbunden sind.

1.4 Effizienz, Suffizienz und Konsistenz

Drei Strategien in Richtung Nachhaltigkeit stehen derzeit im Zentrum der Debatte:

1. Die Steigerung der Ressourcen-Effizienz
2. Die Veränderung von Lebens- und Konsumstilen (Suffizienz, wie viel ist genug?) und
3. Konsistenz, die Einbettung des gesellschaftlichen Stoffwechsels in den Naturhaushalt.

Die Effizienzstrategie ist noch am einfachsten umzusetzen, weil hier von alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit gleichermaßen 'profitieren' können. Hier sind echte win-win-win-Spiele möglich, wenn die Herstellung von Produkten oder die Bereitstellung von Dienstleistungen mit einem geringeren Naturverbrauch (und damit natürlich auch mit geringeren Rohstoffkosten) realisiert werden können (Effizienzrevolution, doppelter Wohlstand, halber Ressourcenverbrauch, produkt- und produktionsintegrierter Umweltschutz, vgl. von Weizsäcker 1990, von Weizsäcker, Lovins 1995). Dies kann geschehen durch technische Innovationen, aber auch durch soziale und institutionelle Innovationen, durch den Verkauf von Dienstleistungen (saubere Wäsche) statt Waren (Waschmittel und Waschmaschinen), durch Leasing, aber auch durch Multifunktionalität, Langlebigkeit und Reparierbarkeit von Geräten.

Die Suffizienzstrategie dürfte die schwierigste sein. Wie können die Industrienationen ihre Konsum- und Lebensstile verändern, vor allem wenn damit der Verzicht auf so manche Annehmlichkeit verbunden ist? Außer der Formulierung neuer Leitbilder (vgl. Wuppertal-Institut 1995) und der Verteuerung des Naturverbrauchs (z.B. Internalisierung ökologischer Folgekosten durch eine ökologische Steuerreform) sind derzeit wenig praktikable Ansätze in Sicht.

Bleibt die Konsistenzstrategie, der 'Versuch der Einbettung des gesellschaftlichen Stoffwechsels in den natürlichen'. Damit ist die andere Dimension des Umgangs mit Natur angesprochen, die Frage nach der Qualität unserer Umgangsformen mit Natur, nach ökologisch verträglichen Technologien.

1.5 Das Mengenproblem und das Technologieproblem

In der ökologischen Debatte gab es von Anfang an zwei parallele Auseinandersetzungslinien. In der einen wurde vor allem die Mengenproblematik thematisiert. *Wir greifen 'zu viel' in die Natur ein.* Die Ressourcen sind ebenso begrenzt wie die globale Aufnahmekapazität der Senken. Die Veröffentlichung des Club of Rome-Berichts über die 'Grenzen des Wachstums' Anfang der 70er Jahre hat diese Linie stark geprägt (Meadows 1973). Auf der anderen Seite hieß es dagegen, *wir gehen 'falsch' mit Natur um.* Hier wurden vor allem Techniklinien mit sehr weit reichenden, meist globalen und/oder irreversiblen Wirkungen thematisiert: die synthetische Chemie, die Atomtechnik und in jüngster Zeit auch die Gentechnik. Die Veröffentlichung Rachel Carsons zum drohenden 'Stummen Frühling' angesichts des Pestizideinsatzes in der Landwirtschaft Anfang der 60er Jahre steht für den Beginn diese Linie (Carson 1962).

Von Anfang an bestand auch die Gefahr, dass diese beiden Aspekte der ökologischen Krise, das Mengenproblem und das Technologieproblem gegeneinander ausgespielt werden. So wurde schon zu Beginn der Auseinandersetzung um die Atomenergie und die synthetische Chemie einerseits mit Recht darauf hingewiesen, dass die derzeitigen

Energie- und Stoffumsätze mit Hilfe sanfterer Technologien wohl kaum realisiert werden können. Und andererseits wurde ebenso zu recht betont, dass ein Versuch, dies doch noch zu schaffen, z.B. durch einen mengenmäßig enorm gesteigerten Einsatz sanfterer Technologien, wahrscheinlich zu vergleichbaren ökologischen Schäden führen würde. Nur in der Kombination sind die beiden Probleme, das Mengen- und das Technologieproblem, zu lösen. Nur wenn wir es schaffen, unsere Stoff- und Energieumsätze radikal (ca. um den Faktor 10) zu senken, gibt es eine realistische Option, diesen niedrigeren Bedarf dann auf der Basis regenerativer Ressourcen und deren Gewinnung und Verarbeitung durch sanftere Techniken zu befriedigen.

Gerade auch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdebatte droht allerdings ganz aktuell die Gefahr, dass die angestrebte Effizienzrevolution als Effektivitätsrevolution auf der Basis extrem wirkmächtiger Risikotechnologien realisiert wird. Extrem wirkmächtige Risikotechnologien, bei denen mit vergleichsweise geringem Einsatz an Stoffen und Energien eine vergleichsweise große Wirkung erzielt werden kann, bieten sich für die angestrebte Effektivitätssteigerung geradezu an. Und es ist auch nicht von der Hand zu weisen, dass ein Verzicht auf diese 'Power-Technologien', dass der Umstieg auf weniger riskante und weniger wirkmächtige Alternativen, unter Beibehaltung unserer derzeitigen Stoff- und Energieumsätze, in der Regel auch einen größeren Aufwand an Stoffen, Energien, Geld, Wissen und Arbeitskraft nach sich ziehen würde. 'Effizienzrevolution durch Eingriffstiefe', so könnte die im Rahmen der Nachhaltigkeitsdebatte drohende technologische Durchbruchstrategie lauten. Die Atomenergie wird schließlich schon mit dem Hinweis auf das CO₂-Problem neu ins Spiel gebracht. Das 3-Liter-Auto soll auf der Basis nicht gerade umweltfreundlicher und kaum recycelbarer synthetischer Kunststoffe gebaut werden, und die Firmen Boehringer Mannheim und Henkel werben schon mit den hervorragenden Ökobilanzen von gentechnisch hergestellten Enzymen in der Analytik und im Waschmittelbereich¹⁾

1) Vgl. Boehringer 1994 und Solvay 1995; Bahn, Intemann 1995

1.6 Effizienzrevolution durch Eingriffstiefe? - Das Beispiel Enzymtechnik -

Enzyme kann man als die Stoffwechselwerkzeuge der belebten Natur bezeichnen. Sie gehören zu den interessantesten Feldern auf der Suche nach ökologisch angepassten 'sanfteren Techniken' im Bereich der Stoffumwandlung. Im Unterschied zu chemisch-synthetischen Reaktionen der organischen Erdöl- und Chlorchemie, bei denen mit zunehmender 'Härte' der Reaktionsbedingungen (hohen Temperaturen, Drücken und hoher Aggressivität der verwendeten Chemikalien) mit überproportional zunehmenden Nebenreaktionen (und damit Verunreinigungen und Reststoffen) gerechnet werden muss, verlaufen die enzymatischen Reaktionen der Organismen hochspezifisch, mit wenig Nebenprodukten, bei physiologischen Bedingungen, bei ca. PH 7 und 15 - 35 °C. Mit Hilfe der Enzymtechnik ist also eine optimale Ressourcenproduktivität bei Synthese, Stoffumwandlung und Abbau realisierbar, eine optimale Rohstoffausnutzung, die Vermeidung von Nebenprodukten und dies alles bei milden Reaktionsbedingungen, mit wesentlich geringerem Energieverbrauch und geringeren Unfallgefahren (Sauter 1996).

Aber es stellt sich sofort die Frage nach der Technologie zur Gewinnung dieser Enzyme. Wenn die Firmen Boehringer Mannheim und Henkel mit dem Slogan 'Umweltentlastung durch Gentechnik' werben (vgl. die Abbildungen 1 und 2), verbinden sie den Hinweis auf die ökologischen Vorteile der Enzymtechnik mit dem Versuch einer Akzeptanzverbesserung für die Gentechnik. Große Einsparpotentiale für Stoff- und Energieumsätze sowohl durch den Einsatz der Enzymtechnik, als auch durch den Einsatz der Gentechnik für die Gewinnung der Enzyme sind tatsächlich vorhanden. Fraglich ist allerdings, ob zur Gewinnung von Enzymen wirklich Gentechnik nötig ist, und damit zusammenhängend, ob wir wirklich derart große Mengen von Enzymen brauchen. Derzeit werden sie in der Regel nur einmal verwendet, obwohl eine Mehrfachverwendung, z.B. durch Immobilisierung auf einem geeigneten Trägermaterial, durchaus möglich wäre.

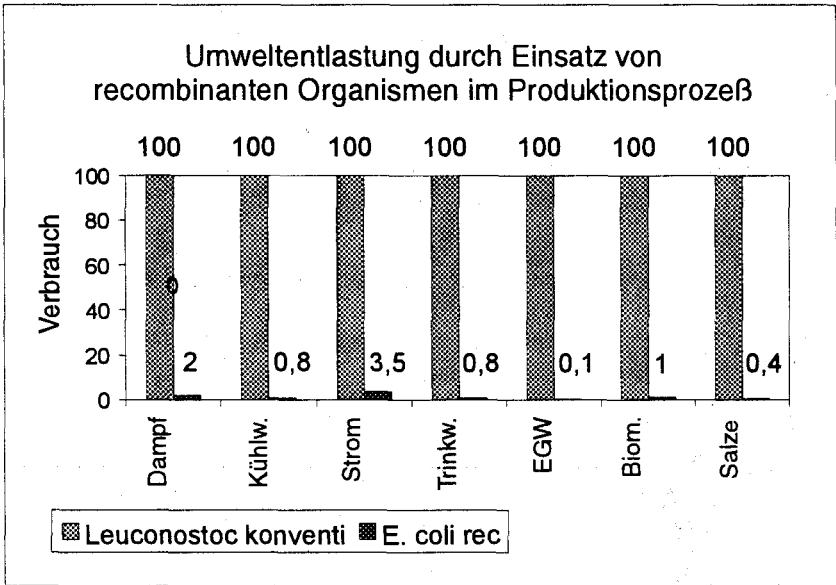


Abb. 1: Aus: Boehringer 1994

Abbildung 1 zeigt, dass für die Produktion eines Enzyms, das auf Teststäbchen für Zucker im Urin aufgebracht wird, mit dem Einsatz gentechnischer Verfahren eine Verminderung des Umsatzes bzw. Verbrauchs an Dampf, Kühlwasser, Strom, Trinkwasser, Abwasserfracht (Einwohnergleichwerte), Biomasse und an Salzen nicht nur um den Faktor 10, sondern um den Faktor 100 möglich ist. Fairerweise hätten die Autoren allerdings auch erwähnen müssen, dass in diesem Fall die Produktionsleistung eines nicht optimierten Wildstammes des Milchsäurebakteriums *Leuconostoc konventi* mit der Produktionsleistungen einer optimierten rekombinierten *Escherichia coli*-Kultur verglichen wurde, mit der schon umfangreiche Fermentationserfahrungen vorliegen.

Insofern sind die in Abbildung 2 dargestellten Daten für die Produktion von Waschmittelenzymen einer Tochter der Henkel AG realistischer.

Dort werden die Produktionsleistungen einer optimierten²⁾ Form von *Bacillus subtilis* mit den Produktionsdaten einer rekombinierten Form verglichen. Bei der letztgenannten wurde die genetische Information eines Wildtyps in einen über viele Jahre bewährten Produktionsstamm übertragen (vgl. Bahn, Intemann 1995). Das führte zu einer Verminderung des Ressourcenverbrauchs bzw. der damit verbundenen Umweltbelastung um den Faktor zwei bis fünf, was ja immer noch beachtlich ist.

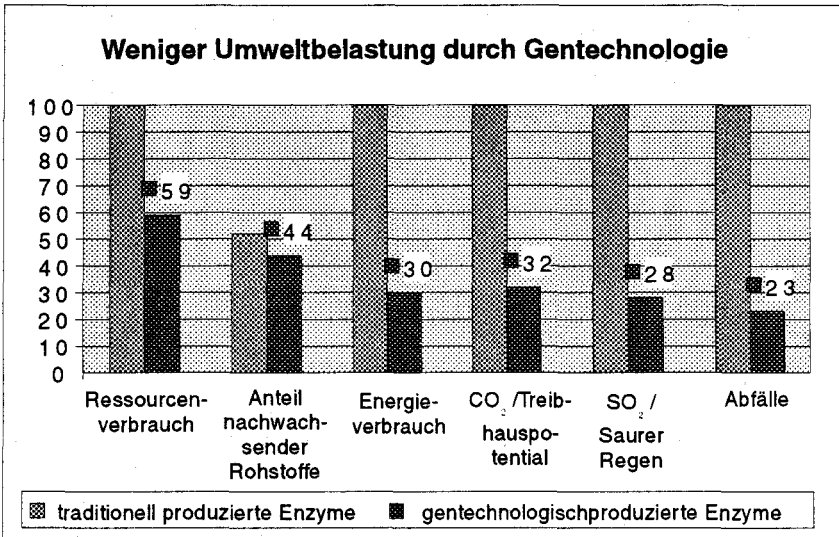


Abb. 2: Ökobilanzvergleich der Herstellung von Waschmittelezymen ohne und mit Gentechnologie. (Relative Umwelteinwirkungen in %, Bezugsbasis: gleiche Waschleistung) Quelle: Untersuchung von Cognis (Henkel)

Natürlich sind dies nur zwei Beispiele, und es muss gefragt werden, inwieweit sie verallgemeinerbar sind. Aber allein die prinzipielle Überlegung, dass wir es bei der Gentechnologie mit einer sehr wirkmächtigen Technologie zu tun haben, deutet darauf hin, dass uns der Konflikt zwischen der Steigerung der Ressourceneffizienz einerseits und der Risikovorsorge angesichts extrem wirkmächtiger Technologien

2) Wobei diese 'Optimierung' in Form eines Wechselspiels von Mutagenese (alte Gentechnik!) und Selektion erfolgt.

andererseits die nächste Zeit wohl begleiten wird. Die Möglichkeit einer 'Effizienzrevolution auf der Basis von Risikotechnologien' ist nicht von der Hand zu weisen, und eine Abwägung zwischen den Risiken globaler Klimaveränderungen und des Erhalts der Möglichkeit zur Ressourceninanspruchnahme zukünftiger Generationen einerseits und den Risiken einer gentechnologischen Produktion andererseits, ist nicht so ohne weiteres zu entscheiden.

1.7 Enzymtechnik in einer sanfteren Chemie

Man kann Enzyme gentechnisch oder chemisch-synthetisch herstellen, oder man kann versuchen, sie aus Organismen zu extrahieren. Eine der wesentlichen Vorsorgemaßnahmen in einer 'sanfteren Chemie' besteht in dem Prinzip 'Suchen vor dem Konstruieren' (von Gleich 1994). Bevor daran gegangen wird, für eine bestimmte Funktion einen naturfremden Stoff (oder einen Organismus) chemisch-synthetisch (oder gentechnisch) zurechtzuschneiden, sollte man erst einmal nachschauen, ob nicht die Natur uns Vergleichbares in ihrem unermesslichen evolutionären Reichtum schon bereit gestellt hat. Von im Stoffwechsel der Natur ohnehin schon in relevanten Mengen zirkulierenden Stoffen dürfen wir zwar nicht annehmen, dass sie ökologisch oder gar toxikologisch völlig unproblematisch sind. Wir wissen schließlich genau, dass die Natur die effektivsten Gifte hervorgebracht hat, und dass Naturstoffe in den falschen Mengen und/oder am falschen Ort große ökologische Katastrophen auslösen können. Eine spezielle Umweltverträglichkeits- und toxikologische Prüfung bleibt also auch bei ihnen unabdingbar. Aber wir wissen andererseits auch, dass eine solche Prüfung sich erst bei einer Selbstbeschränkung auf Stoffe, die ko-evolutionär erprobt sind, im Bereich des realistischer Weise mit einiger Sicherheit Leistbaren bewegt. Diese Stoffe haben, im Unterschied zu naturfremden (xenobiotischen) und extrem langlebigen Stoffen wie z.B. FCKWs oder PCBs zumindest ihre prinzipielle Umweltverträglichkeitsprüfung im Evolutionsprozess schon hinter sich (eine spezielle Prüfung steht dann wie gesagt immer noch aus).

Wir sind nicht gezwungen Enzyme gentechnisch herzustellen. Auch ohne Verabschiedung des Vorsorgeprinzips, auch auf der Basis des 'Suchens vor dem Konstruieren' lässt sich ein Beitrag der Enzymtechnik zur Nachhaltigkeit realisieren. Die ganze Biosphäre ist voll von Enzymen. Im Lebensmittelbereich eingesetzte Enzyme wie Papain, Ficin und Bromelain sind Beispiele dafür, dass es durchaus möglich ist, Enzyme für den technischen Einsatz aus Pflanzen zu extrahieren. Wir könnten die Enzyme auch aus organischen Reststoffen gewinnen, z.B. aus den Abfällen der Nahrungs- und Genussmittelindustrie (Molke, Blut, pflanzliches Material)³⁾. Entscheidend für die großtechnische Realisierbarkeit ist dabei weniger das fast unerschöpfliche natürliche Dargebot an Enzymen, als vielmehr die Extraktionstechnologie. Hier kommen uns allerdings bedeutende Fortschritte in der Membrantechnologie zu Gute, die neue Perspektiven eröffnen sowie Fortschritte in der Affinitäts-Chromatographie (von Gleich 1997a).

2. Probleme mit dem Naturbegriff

Was ist Natur? Inwieweit können wir sie erkennen? Das sind Fragen, die - wenn schon nicht geklärt - zumindest angesprochen werden müssen, wenn über Alternativen im Umgang mit Natur, wenn über eine mögliche zukünftige 'Mitproduktivität der Natur in einer Allianztechnik' im Sinne Ernst Blochs gesprochen werden soll (Bloch 1973). Wir Menschen (bzw. Gesellschaften) sind Teil der Natur, und wir sind ein Ergebnis natürlicher Evolutionsprozesse. Natur ist damit zunächst einmal, das 'was vor uns da war und nach uns sein wird'. Wir können eine äußere Natur und unsere innere (körperliche) menschliche Natur unterscheiden. Wir sind aber eben nicht 'nur' Natur.

Wir können Natur und Gesellschaft als Grenzbegriffe auf einer kontinuierlichen Skala betrachten, auf deren einem Pol dann 'reine Natur' und auf deren anderem Pol 'reine Gesellschaftlichkeit' steht. Der

3) In Canada wird mit Pepsin aus Kabeljaumägen als Ersatz für das Labferment (bisher aus Kalbsmägen, jetzt zunehmend gentechnisch gewonnen) experimentiert. Vgl. Brewer u. a. 1984.

größte Teil der Wirklichkeit kann dann auf diesem Kontinuum als 'gesellschaftlich in unterschiedlichem Ausmaß überformte Natur' eingeordnet werden. Wobei noch eine theoretische und eine praktische Überformung unterschieden werden kann. Die theoretische Überformung geschieht nur in unserem Kopf, z.B. bei der Wahrnehmung der Natur (insofern das Wahrgenommen-Werden die Natur real nicht verändert), die praktische stellt dagegen eine ganz reale Veränderung der Natur durch tatsächlichen Eingriff dar. 'Reine Natur' kann es 'für uns' nicht geben, weil Wahrnehmen und Erkennen immer schon Überformung mit sich bringen (die wiederum unterschiedlich weitgehend, die Wahrnehmung und Erkenntnis unterschiedlich gegenstandsgemäß sein kann). Aber auch 'reine Natur' im Sinne von 'unberührte Natur', vom Menschen nicht schon praktisch und real 'veränderte Natur' dürfte es kaum noch geben.

Schon eher scheint es 'reine Gesellschaftlichkeit' zu geben, z.B. im (Tausch-)Wert (den es aber bekanntlich nicht ohne den Gebrauchswert gibt) oder in den Denkformen der Logik und Mathematik, die ja auch alles Konkrete, Historische und Natürliche hinter sich gelassen zu haben scheinen (was der Grundlagendebatte in der Mathematik zufolge aber auch nicht stimmt).

Noch schwieriger wird es, wenn beim angesprochenen Ziel einer 'Partnerschaft', einer 'Zusammenarbeit mit der Natur', der Natur so etwas wie ein 'Subjektcharakter' zugeschrieben wird. Sofort regt sich hier der berechtigte Verdacht, dass es sich dabei um eine völlig unzulässige Projektion von uns Menschen auf die Natur handelt. Schreiben wir ihr da nicht etwas zu, was sie nicht hat, gar nicht haben kann? Solche Einwände sind sicher berechtigt - aber vielleicht müssen wir gar nicht so weit gehen. Vielleicht reicht es für unsere Zwecke, für das Verfolgen des Ziels eines anderen, sanfteren, im Ziel möglicherweise sogar naturgemäßerem und partnerschaftlicherem Umgangs mit Natur, auf die Erkenntnisse der kosmologischen, geowissenschaftlichen und biologischen Evolutionstheorien zurückzugreifen, die zumindest für sich in Anspruch nehmen, vergleichsweise objektive naturwissenschaftliche Theorien darzustellen und keine unzulässigen Projektionen der Menschen in die Natur. Reicht es nicht, wenn wir Natur zwar nicht

als Subjekt mit Ziel und Willen, aber doch als eine betrachten, die in einem enorm dynamischen und schöpferischen, permanenten Evolutionsprozess befindlich ist, die eine große Mannigfaltigkeit an Strukturen, Formen, Lebewesen und 'Systemen' hervorgebracht hat und noch hervorbringt, und die insofern eine in gewissem Sinne (unbewusst) 'Produzierende' ist? Mitproduktivität der Natur könnte dann realisiert werden, indem wir uns mit dieser schöpferischen Kraft und deren Ergebnissen verbünden unter möglichst weitgehender Anerkennung ihrer 'Eigenständigkeit' (was auf jeden Fall beinhaltet, dass Spielräume für die phylo- und ontogenetische Entfaltung vorhanden sein müssen) und ohne so zu tun, als ob man wissen könne, wohin die Evolution und ihre 'Produkte' 'für sich' tendieren würden.

Ganz so abstrakt und von folgenloser Allgemeinheit wie dies hier klingen mag, sind derartige Überlegungen im übrigen nicht. Auf dieser Ebene entscheiden sich schon so praktische Fragen wie diejenige, ob bzw. inwieweit es Sinn macht von 'artgerechter Tierhaltung' zu reden, von 'naturnahen Landschaften', von 'standortgerechter Landwirtschaft' von 'naturfremden (xenobiotischen) Stoffen' oder von möglichst 'naturbelassenen (oder wenig 'denaturierten') Nahrungsmitteln'. Auf dieser Ebene entscheidet sich auch die Frage, ob wir überhaupt 'von der Natur lernen' können, z.B. in der Bionik für die Entwicklung einer naturnäheren oder gar naturgemäßerer (ökologischen) Technik (von Gleich 1997b).

2.1 Formen des Umgangs mit Natur

Bei einer näheren Betrachtung verschiedener Formen des Umgangs mit Natur können wir, neben einer unabdingbaren Naturnutzung einschließlich Nutzbarmachung (Zurichtung), zwei weitere idealtypische Formen des Naturumgangs unterscheiden, eine auf Naturbeherrschung und eine auf Partnerschaft mit der Natur ausgerichtete.

2.1.1 Naturnutzung und Nutzbarmachung

Jede Gesellschafts- und Wirtschaftsform ist auf die Nutzung der Naturgrundlage und in diesem Zusammenhang auf die Nutzbarmachung und Zurichtung der Natur angewiesen. Auch wenn die 'Partnerschaft mit der Natur' ein ökologisch wünschenswertes Ziel darstellen mag, wird selbst die 'ökologischste' Gesellschaft der Zukunft auf die Zurichtung der Natur zum Schutz der Menschen vor Naturgewalten und anderen unangenehmen Seiten der Natur wie Parasiten und Infektionskrankheiten sowie als Voraussetzung einer nachhaltigen Naturnutzung nicht verzichten können. Selbst wenn die 'Kultivierung des Menschen und der Natur' als Perspektive eines partnerschaftlichen Umgangs mit Natur betrachtet wird (vgl. Bloch 1973; Suchantke 1994; Meyer-Abich 1997), setzt diese ja, wie wir auch aus der Zivilisations- und Individualgeschichte wissen (Elias; Freud) durchaus schmerzhaft (Selbst-)Disziplinierungen und 'Zurichtungen' (bis hin zur Dressur) voraus. Damit stellt sich die Frage, wie diese Nutzbarmachung⁴⁾ und dieser Selbstschutz (z.B. erforderliche Hygiene bis hin zur Sterilisation im Operationssaal) wie also die nötigen 'Zurichtungen' genau erfolgen sollen. Für die Bewertung verschiedener Formen der Nutzung, Nutzbarmachung und der dafür nötigen Zurichtung der Natur bzw. ihrer Strukturen, Stoffen, Organismen usw. sollen hier, neben den schon vorgestellten Kriterien 'Regenerierbarkeit von Stoff- und Energiequellen', einschließlich deren Nutzung unterhalb der 'Regenerationsrate' noch die Kriterien 'Umgang mit Ordnungsniveaus', und 'Grad der Zurichtung' vorgestellt werden.

2.1.2 Das Kriterium 'Umgang mit Ordnungsniveaus'

Unsere Nutzung der Natur beruht auf den Ergebnissen (und Wechselwirkungen) der abiotischen (Mineralien, Reliefstruktur, Sonnenenergie, Klima, Wasserhaushalt) und biotischen Evolution (Biosphäre, Organismen mit ihren Stoffen, Strukturen und Leistungen).

4) Die Nutzbarmachung bringt ja als Extraktion und Isolation aus dem Naturzusammenhang, als Urbarmachung, Rodung und Entwässerung sehr weitgehende Eingriffe mit sich!

Dem Technikbewertungskriterium 'Umgang mit Ordnungsniveaus' liegt der Gedanke zugrunde, dass im abiotischen und im biotischen Bereich die natürlich vorfindbaren Ordnungsniveaus, z.B. die Konzentration von technisch interessanten Stoffen in Lagerstätten, ein 'Geschenk der Natur', der geohistorischen und biologischen Evolution und ein 'Erbe der Menschheit' darstellen, mit dem nicht zuletzt mit Blick auf die Interessen zukünftiger Generationen sorgsam umgegangen werden muss. Wenn immer magerere Erzlagerstätten ausgebeutet werden müssen, steigt proportional der energetische und materielle Aufwand für Gewinnung, Aufreinigung und Konzentration. Diese Erschließungsarbeit erzeugt einerseits ein hohes Maß an Ordnung (das konzentrierte Metall), auf der anderen Seite wird, gemäß dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, ein diesem Prozess zuordenbares Maß an 'Unordnung' (Entropie), also Abfall, Abwärme, Emissionen erzeugt. Diesen Werkstoffen muss also ihr 'ökologischer Rucksack' (Schmidt-Bleek 1994) zugeordnet werden (vgl. Abb. 3).

Auch im biotischen Bereich gibt es dieses Problem, z.B. stellt die schlichte Verbrennung von Rapsöl oder Alkohol in Motoren eine Nutzungsform dar, die mit dem assimilativ in der Pflanze mit Unterstützung der Landwirtschaft erzeugten 'Ordnungsniveau' (dem molekularen Niveau pflanzlicher Öle) vergleichsweise verschwenderisch umgeht. Dagegen wäre die Weiterentwicklung von Pflanzenölen zu 'Biokunststoffen', bei denen mit der Synthese nicht, wie heute üblich, ganz unten auf dem Niveau von Erdölfragmenten angefangen werden muss, sondern bei denen das natürlich erzeugte Komplexitätsniveau technisch weiter gesteigert wird, ein mit Blick auf den Umgang mit Ordnungsniveaus vorteilhafterer Weg. Wirklich vorteilhaft wird dieser Weg allerdings erst dann, wenn auch ein solcher Biokunststoff nicht nach einmaligem Gebrauch kompostiert wird, sondern wenn er mit vertretbarem Aufwand mehrfach verwendet werden kann und sich dadurch der aus seiner Primärerzeugung stammende ökologische Rucksack zunehmend ökologisch amortisiert (vgl. Abb. 4). Wenn dann nach mehreren Durchlaufzyklen der Aufwand für das Recycling größer werden sollte als für die Primärherstellung, wenn also der Biokunststoff mit vertretbarem Aufwand nicht mehr wieder verwendet werden kann, dann erst

kommt der große ökologische Vorteil seiner Kompostierbarkeit, seiner Wiedereingliederbarkeit in den Stoffwechsel der Natur zum Zuge.

Für die Bewertung des Umgangs mit diesen auf der Basis der Energiezuflüsse der Sonne erst möglich gewordenen geo- und bioevolutionär 'erzeugten' Ordnungsniveaus soll das Kriterium 'Umgang mit Ordnungsniveaus' dienen. Wobei nicht nur der Umgang mit 'natürlichen' Ordnungsniveaus betrachtet werden sollte, sondern auch der Umgang mit technisch erzeugten Ordnungsniveaus (Struktur-, Informations-, Wert- oder Organisationsniveaus), also z.B. Produktlanglebigkeit und -reparierbarkeit bzw. allgemein der Unterschied zwischen echtem Recycling, Up-cycling oder Down-cycling.

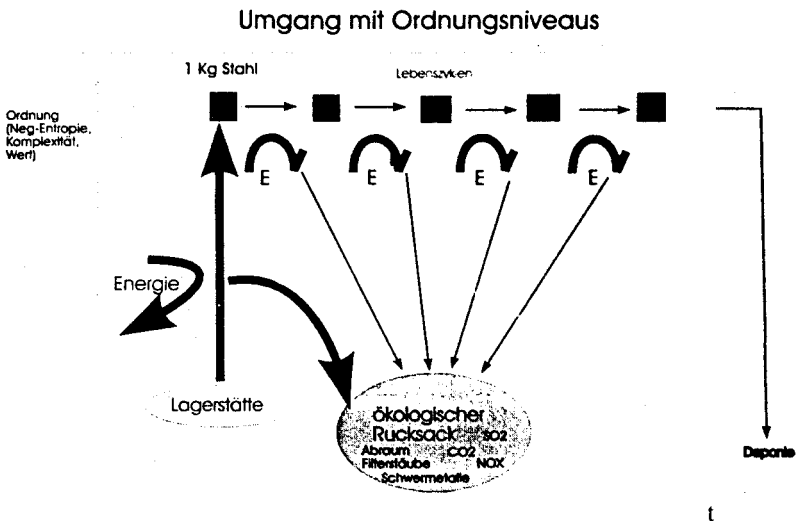


Abb. 3

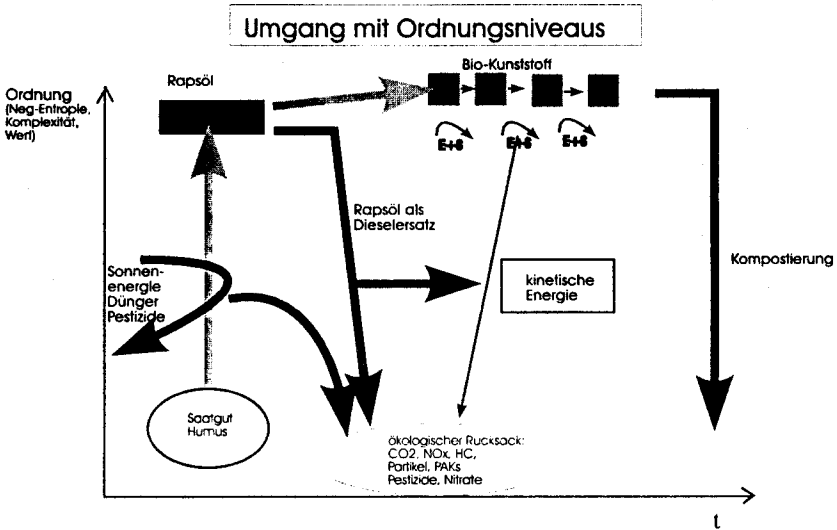


Abb. 4

In den Abbildungen 3 und 4 geht es damit nicht nur physikalisch bzw. thermodynamisch um 'Ordnung' mit Blick auf energetische Zustände, sondern auch um 'Ordnungs-' und 'Komplexitätsniveaus', die z.B. mit Hilfe der allgemeinen Systemtheorie beschrieben werden können. Unter ökonomischen Aspekten kann hier auch der Wert, können Prozesse der Wertschöpfung und des Wertverlustes dargestellt werden. Begriffe wie Up- und Down-cycling haben schließlich zunächst vor allem eine ökonomische Bedeutung.

Von einem 'echten Recycling auf gleichem Ordnungsniveau' sind wir in der Praxis allerdings noch weit entfernt. Derzeit kann eine 100 %ige Wiederverwertung von Werkstoffen auf gleichem Ordnungsniveau (ohne Verdünnung von Problemstoffen aus den Altstoffen in Frischware) mit Ausnahme der Edelmetalle in keinem der großen Werkstoffbereiche realisiert werden, nicht bei den Massenmetallen und schon gar nicht bei den Kunststoffen.

2.1.3 Das Kriterium 'Grad der Zurichtung'

Die Nutzung und Nutzbarmachung von Natur besteht neben der noch anzusprechenden 'Kultivierung' im wesentlichen in der Reinigung, Ausgrenzung bzw. Eliminierung von Naturbestandteilen bzw. Naturkräften und -prozessen. Es geht um das Herauslösen von Stoffen und Strukturen aus dem Naturzusammenhang, das Reinigen und das Neukombinieren isolierter und gereinigter Stoffe und Strukturen (z.B. Extraktion von Pflanzensäften oder -strukturen, Metallgewinnung, Glasherstellung), um Isolation und Abschirmung (z.B. Deichbau, Hausbau, Konservierung, Hygiene) bis hin zur Eliminierung unerwünschter Naturbestandteile (Rodung, Melioration, Jäten, Sterilisation, Antibiotika). Das auf diese Form des Naturumgangs zielende Kriterium heißt 'Grad der Zurichtung'. Da die Zurichtungsprozesse verschieden weit getrieben werden können, mit immer größerer Entfernung vom Naturzustand, handelt es sich um ein 'Intensitätskriterium'.

Dem Kriterium 'Grad der Zurichtung' liegt der Gedanke zugrunde, dass Stoffe, die ohnehin schon in relevanten Mengen in der Biosphäre zirkulieren, von Organismen bzw. Ökosystemen vergleichsweise gut 'verarbeitet' werden können, zumindest solange deren Assimilationskapazität quantitativ nicht überfordert wird. In ihren im Naturzusammenhang oft geringen Konzentrationen bzw. in ihrer natürlichen Komplexität und Vielgestaltigkeit sind diese Stoffe aber technisch allerdings meist nicht einsetzbar. Sie müssen bearbeitet, zumindest aufkonzentriert werden. Das Kriterium 'Grad der Zurichtung' zielt auf die Erfassung der mit dieser Reinigung, Ausgrenzung, Eliminierung und Aufkonzentration verbundenen Probleme. Dies hinsichtlich des Aspekts, dass Reinigung immer auch 'Abfall' bedeutet. Insofern ist das Kriterium ein Unterpunkt des Kriteriums 'Umgang mit Ordnungsniveaus'. Es gibt aber auch noch einen zweiten qualitativen Aspekt, der eher zum unten noch zu entwickelnden Kriterium 'Eingriffstiefe' gehören dürfte. Es scheint - wenn auch nicht durchgängig - einen Zusammenhang zu geben zwischen dem Grad der Konzentration von Stoffen und ihrer Giftigkeit bzw. den Verarbeitungsproblemen, die natürliche Systeme mit ihnen haben. Dies lässt sich am Beispiel der Pyrethroide zeigen.

Ausgangspunkt der Entwicklung der Pyrethroide war die Erfahrung, dass die zerriebenen Blüten einer bestimmten Chrysanthemartenart den Menschen die Flöhe vom Leib hielten. Die zerriebenen Chrysanthemenblüten wurden schon vor Jahrhunderten als 'persisches Flohpulver' verkauft und eingesetzt. Der nächste technologische Entwicklungsschritt war die Gewinnung eines Wirkstoffextrakts. Dieses Konzentrat hatte aber nicht mehr nur eine abschreckende Wirkung (Repellent), sondern tötete die Insekten schon (Insektizid). Man setzte den Extrakt als Insektizid in Gartenbau und Landwirtschaft ein, aber er wurde als natürliche Substanz recht schnell biologisch abgebaut. Also versetzte man ihn mit Stabilisatoren auf Mineralölbasis. Und schließlich klärte man die Molekülstruktur der Wirkstoffklasse auf und begann, sie synthetisch nachzubauen, wobei auch gleich einige 'Verbesserungen' an der Molekülstruktur angebracht wurden - inklusive der in der Natur vergleichsweise seltenen Chlorierung - zur Erhöhung von Wirkung und Stabilität. Heraus kamen die Pyrethroide, wie wir sie heute kennen, mit all ihren problematischen Nebenwirkungen. Sie haben mit dem Stoffgemisch in der Chrysanthemenblüte nur noch einige Charakteristika der Molekülstruktur, mit der Biosynthese dieser Stoffe in der Chrysantheme und mit der ökologischen Funktion dieses Stoffgemisches im Naturhaushalt fast nichts mehr zu tun (Jäger-Mischke, Wollny 1988).

Aus der Ernährung bzw. Lebensmittelverarbeitung kennen wir das Kriterium der 'Denaturierung', mit dem Ähnliches zu erfassen versucht wird, auch wenn dieser Begriff bisher allenfalls für Proteine einigermaßen exakt definiert ist. Letzteres erinnert daran, dass es nicht nur um den Grad an Isolierung und Reinigung geht, sondern auch um die Verarbeitungsbedingungen (z.B. um die 'Eingriffstiefe' durch Druck, Hitze, oder chemisch aggressive Chemikalien und die Art und Zahl der damit ausgelösten Reaktionen). Das Minimum an 'Zurichtung' wäre auf der anderen Seite 'Naturbelassenheit' oder zumindest 'Naturnähe'.

2.2 Naturbeherrschung

Im Unterschied zur Naturnutzung, die als Zurichtung der Natur zum Schutz vor Naturgewalten und als Nutzbarmachung der Natur durchaus auch auf 'Herrschaft' angelegte Aspekte hat, geht es hier um besonders problematische Formen von Naturbeherrschung. Zu diesen gehören zum einen Eingriffe, mit denen versucht wird, den permanenten Veränderungsprozess in der Natur, das ständige 'Werden und Vergehen' das 'panta rhei' ('Alles fließt') vollständig zum Stillstand zu bringen, also die möglichen Freiheitsgrade, und damit die Entwicklungs- und Reaktionsmöglichkeiten der Natur, so weit wie nur irgend möglich einzuschränken. Dass diese Versuche - zumal wenn 'für die Ewigkeit gebaut werden soll' - immer schief gehen, wissen wir inzwischen, aber allein die Versuche bringen riesige Probleme mit sich.

Zu den besonders problematischen Formen der Naturbeherrschung mit mehr technischem Erfolg und deshalb auch viel weitgehenden - nämlich meist globalen und irreversiblen - Folgen gehört zum anderen der Versuch der Beherrschung der Natur und ihrer völligen Um- bzw. Neugestaltung mit Hilfe einer Gruppe von extrem wirkmächtigen Risiko-Technologien, mit Hilfe der Atomtechnik, der synthetischen Chemie und der Gentechnik.

Bei der Naturbeherrschung in dieser starken Form wird technische Wirkmächtigkeit v.a. durch hohe Eingriffstiefe in Naturzusammenhänge erzielt. Der Eingriff geht weit über das Zurichten, Trennen, Reinigen, Eliminieren und Mischen hinaus. Er besteht nicht mehr nur in der Manipulation an direkt wahrnehmbaren und zugänglichen Naturphänomenen, wie das bei den traditionellen handwerklichen, haus- und landwirtschaftlichen Techniken ausschließlich der Fall war und ist, sondern er erfolgt als Manipulation von Strukturen, die diese Phänomene sehr weitgehend steuern, insbesondere über die Manipulation von Atomstrukturen, Molekülstrukturen und Genen. Eine wesentliche Folge sind extreme Risikopotentiale und das Auseinanderklaffen zwischen der Reichweite unserer Handlungen und der Reichweite unseres Wissens über mögliche Folgen. Es handelt sich um Eingriffe mit hoher technischer Wirkmächtigkeit und extrem verlängerten raum-zeitlichen

Wirkungsketten (vgl. Abb. 5). Das auf die Erfassung dieser Form von Naturbeherrschung zielende Kriterium der Technikbewertung ist die Eingriffstiefe.

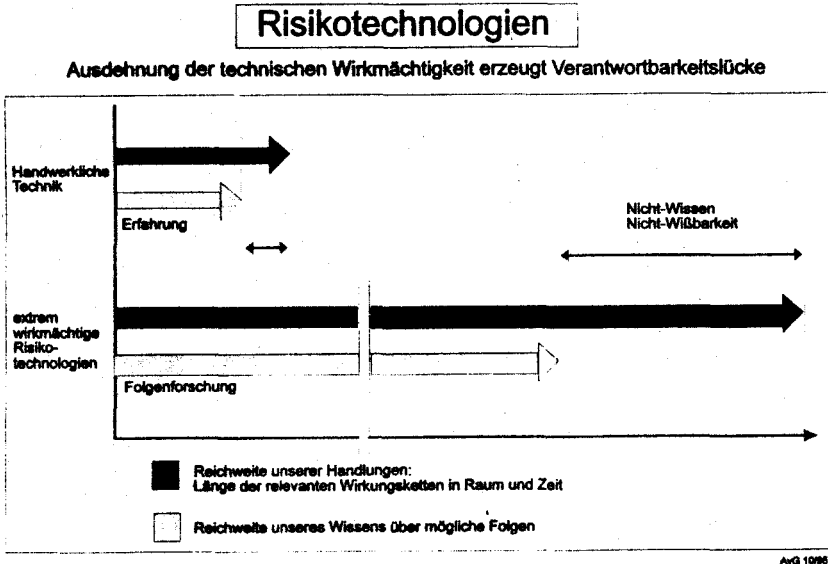


Abb. 5

2.2.1 Das Kriterium 'Eingriffstiefe'

Das Kriterium Eingriffstiefe wurde in der wissenschafts- und technik-kritischen Debatte entwickelt. Mit ihm wird versucht, das gemeinsam Problematische der drei im ökologischen Diskurs am kritischsten diskutierten Technologielinien zu fassen, der Atomtechnik, der synthetischen Chemie und der Gentechnik. Der historische und logische Grund für die Eingriffstiefe dieser Techniklinien wird dabei auf den spezifischen Ansatz der ihnen zugrunde liegenden Wissenschaftsdisziplinen zurückgeführt (von Gleich 1989).

Bei allen drei Technologien handelt es sich um wissenschaftliche Technologien, die auf der Herangehensweise einer ganz spezifischen Form von Naturwissenschaft basieren, den so genannten exakten, den mathematisch-experimentellen Disziplinen.

Diesen Disziplinen eigentümlich ist ein besonderes Verhältnis zu ihrem Gegenstand, der Natur. Die mathematisch-experimentell arbeitenden Naturwissenschaftler gingen nicht mehr von dem aus, was unmittelbar wahrnehmbar war und ist, von der Natur, wie wir sie im Alltagsbewusstsein verstehen, und von der auch alle bisherigen (empirischen) Techniken ausgingen. Für die mathematisch-experimentellen Naturwissenschaftler verwandelte sich die 'unmittelbare' Natur in die 'bloßen Phänomene', die sie nicht eigentlich interessierten. Sie interessierten sich für das, was *hinter* den Phänomenen steckte. Die mathematisch-experimentellen Naturwissenschaftler interessierten sich für die Gesetze, die diese Phänomene hervorbringen und steuern, für das, was die Welt im Innersten zusammenhält, für den archimedischen Punkt, von dem aus die Welt aus den Angeln gehoben werden kann. Alle drei großen Naturwissenschaften waren sehr erfolgreich bei ihrer 'Suche' nach solchen Strukturen bzw. Gesetzen, die die Phänomene sehr weitgehend steuern: Die Physiker 'fanden' die Atome, indem sie sie spalteten und bestimmten die atomaren bzw. elementaren Strukturen als verantwortlich für die physikalischen Eigenschaften der Dinge. Die Chemiker bestimmten die Molekülstruktur als verantwortlich für die chemischen Eigenschaften der Stoffe. Und sie gingen dazu über, Stoffe zu konstruieren, die es bisher in der Natur noch gar nicht gab. Die Biologen schließlich bestimmten die Gene als verantwortlich für die biologischen Eigenschaften und z.T. auch Verhaltensweisen von Organismen. Auch für sie lief die Erkenntnis dieser Strukturen über deren Manipulation, zunächst völlig ungerichtet durch Chemikalien und Strahlen und inzwischen mit Hilfe der Gentechniken auch sehr gezielt. Auch die Biologen sind den Schritt von der Zerlegung (Analyse) zur gezielten Neusynthese gegangen und sind jetzt dabei, Organismen mit ganz neuen Eigenschaften zu konstruieren, Organismen, die auf natürlichem Wege nie hätten zustande kommen können.

Als erste qualitative 'Definition' von 'Eingriffstiefe' kann deshalb formuliert werden:

Eine besonders eingriffstiefe Technologie ist eine, bei der nicht mehr nur an den Phänomenen, sondern direkt an Strukturen technisch angesetzt wird, die die Phänomene sehr weitgehend steuern (gezielte technische Manipulation an atomaren bzw. elementaren Strukturen, an der Molekülstruktur und am Genom).

Damit ist der Grund bestimmt für die extreme Wirkmächtigkeit dieser Technologien, für die extreme Länge der relevanten raum-zeitlichen Wirkungsketten und für die hohe Anzahl relevanter 'Nebenwirkungen'. Sie sind auf das technische Ansetzen an Steuerungsstrukturen zurückzuführen.

Die Industriegesellschaften haben auf diese Weise ihre Eingriffsmöglichkeiten in die Natur, ihre technischen Möglichkeiten zur Veränderung der Natur in einem ungeheuren Ausmaß gesteigert und waren gleichzeitig nicht in der Lage, ihr Wissen über die möglichen Folgen solcher Eingriffe in gleichem Maße zu steigern. Wenn die Folgen unserer Eingriffe in die Natur einigermaßen überschaubar und damit verantwortbar bleiben sollen, empfiehlt sich somit eine Konzentration auf weniger wirkungsmächtige Techniken mit in Raum und Zeit einigermaßen überschaubaren Wirkungsketten. Und es empfiehlt sich der behutsame Einsatz bzw. die behutsame Einführung solcher sanfterer Techniken in einer (evolutionären) Strategie der kleinen je für sich reversiblen Schritte, begleitet von einem intensiven Monitoring der dabei auftretenden ökologischen Effekte.

Mit dem Kriterium Eingriffstiefe können und sollen 'Risikotechnologien' identifiziert, soll und kann zwischen dem Spalten von Steinen und dem Spalten von Atomen, zwischen der Alkoholdestillation und der Synthese xenobiotischer Substanzen, zwischen der Züchtung durch Auslese und der gentechnischen Konstruktion von Organismen unterschieden werden. Und es können auf der Basis dieser Charakterisierung Aussagen zum erwartbaren Wirkungsspektrum gemacht werden, zur erwartbaren Länge der relevanten raum-zeitlichen Wirkungsketten und zum erwartbaren Verhältnis von relevanten Haupt- und Nebenwirkungen.

Das Kriterium 'Eingriffstiefe' muss noch weiter operationalisiert werden, insbesondere ist eine 'Gradualisierung' anzustreben, damit nicht mehr nur qualitativ zwischen dem technischen Ansetzen an der 'Logik' der Phänomene und dem technischen Ansetzen an den Phänomenen selbst, sondern darüber hinaus auch graduell zwischen einer sehr hohen und eine weniger hohen Eingriffstiefe unterschieden werden kann. Für den Bereich der Chemie wurde diesbezüglich schon auf die Bedingungen hingewiesen, unter denen chemische Reaktionen ablaufen (extreme Drücke, Temperaturen, aggressive Chemikalien), durch welche die Reaktionsdynamik und Reaktionsspezifität stark beeinflusst werden sowie auf die Veränderungen der Wirkungen mit dem Grad der Zurichtung beim Pyrethrum. Dies muss auf der 'Target-Seite' ergänzt werden durch eine genauere Analyse der (mehr oder weniger gezielten) Manipulation z.B. von Molekülstrukturen. Konsequenzen aus solchen Versuchen zur Gradualisierung von Eingriffstiefe auf der molekularen Ebene könnten dann darin bestehen, dass bei der Tensidherstellung auf der Basis von Pflanzenölen z.B. vorsorglich nur 'marginale' Veränderungen an den Fettsäuren vorgenommen werden (Verseifung), die C-Ketten aber (zunächst?) unangetastet bleiben.

Derartige Vorsorgemaßnahmen stehen allerdings immer vor dem Problem, dass sich hinterher herausstellen kann, dass sie 'unnötig' waren, dass man 'zu vorsichtig' war. Für die Umsetzung des Vorsorgeprinzips gilt allerdings durchgängig, dass aufgrund des grenzenlosen Nicht-Wissens darüber, was wirklich gefährlich oder problematisch ist (vielleicht auch nur weil die Ressourcen fehlen um dies vorher genau zu überprüfen), seine Umsetzung mit 'überschießenden' Maßnahmen verbunden ist. Auch im Alltag praktizieren wir solche 'überschießenden' Vorsichtsmaßnahmen, wenn wir z.B. den ganzen Brotlaib wegwerfen, an dem wir Schimmel entdeckt haben, obwohl eine genaue Analyse uns ggf. gezeigt hätte, dass wir einen Teil noch hätten bedenkenlos verspeisen können. Insofern können auch Hinweise auf einige völlig harmlose persistente chemisch-organische Chemikalien (persistant organic pollutants POPs) oder auf einige Chlor-Kohlen-Wasserstoffe, die auch ohne menschliches Zutun in größeren Mengen in der Natur vorkommen, eine vorsorgliche Beschränkung des 'offenen Umgangs' mit diesen Stoffgruppen nicht prinzipiell entkräften.

Vorsorge ist immer mit etwas 'zu viel' Vorsicht verbunden, weil man eben die Grenze zwischen 'problematisch' und 'harmlos' (noch?) nicht genau ziehen kann.

2.2.2 Konsequenzen der Eingriffstiefe

Die Naturbeherrschung durch Eingriffstiefe, das technische Ansetzen an der 'Logik' der Phänomene, hat spezifische Konsequenzen, die hier noch einmal kurz zusammengefasst werden sollen:

- Die *Wirkungen* derartiger Eingriffe sind meist *irreversibel und global*, genauer: die Wirkungsketten erreichen eine bisher nicht gekannte raum-zeitliche Dimension (bspw. Plutonium Halbwertszeit 25.000 Jahre, PCBs nach kurzer Zeit in Organismen der Arktis und Antarktis nachzuweisen, gentechnisch manipulierter Mikroorganismen nach Freisetzung nicht rückholbar).
- Die *Macht* über die Phänomene steigt in einem ungeheuren Ausmaß. Es verkehrt sich z.B. das Machtverhältnis zwischen Mensch und Natur. Mussten sich frühere Gesellschaften gegen eine übermächtige Natur zur Wehr setzen, so ist uns heute, nicht zuletzt durch die drei Techniklinien Atomtechnik, synthetische Chemie und Gentechnik, die ganze Natur in die Hand gegeben: zur Zerstörung aber auch zur grundlegenden Umgestaltung. Dass diese Möglichkeiten zur grundlegenden Umgestaltung ein größeres gesellschaftliches und ökologisches Problem werden können, als die ungewollten Neben- und Folgewirkungen sowie Unfälle, darauf hat schon Jonas wiederholt hingewiesen (Jonas 1979, 1985). Fallende technische Grenzen der Machbarkeit müssten jetzt nämlich wenigstens zum Teil durch gesellschaftlich-ethische Grenzen ersetzt werden.
- Mit der extremen Wirkmächtigkeit sind auch *extreme Risikopotentiale* verbunden, die uns von den bisherigen handwerklich-hauswirtschaftlichen Techniken nicht bekannt waren.
- Und schließlich, das könnte das größte Problem sein vergrößert sich die *Kluft* zwischen unserer Handlungsmächtigkeit und unserer Wissensmächtigkeit, zwischen dem, was wir *bewirken* (machen/anrichten) können und dem, was wir über mögliche Folgen unserer Eingriffe *wissen* können (Jonas 1985). Durch diese 'hausgemachte' Kluft zwischen der Reichweite unseres Handelns und der Reich-

weite unseres Wissens reißt eine Verantwortbarkeitslücke auf, mit der adäquat umzugehen bisher keine gesellschaftlichen Strategien in Sicht.

2.2.3 Drei Wege zu irreversiblen und globalen Umweltveränderungen: Eingriffstiefe, Mengeneffekte und Systemzustände

Da mit dem Kriterium Eingriffstiefe nicht von Wirkungen auf Technologien, sondern von Technologien auf erwartbare Wirkungen geschlossen werden soll, kann nahe liegender Weise nicht davon ausgegangen werden, dass die *Eingriffstiefe* der einzige Weg ist zu den angesprochenen Konsequenzen: 'irreversible und globale Umweltwirkungen', 'ungeheure Macht über die Phänomene', 'extreme Risikopotentiale' und 'extreme Kluft zwischen der Reichweite unserer Handlungen und der Reichweite unseres Wissens'. Im Gegenteil, extrem eingriffstiefe Technologien sind nur einer von mindestens drei Wegen zu diesen Ergebnissen. Man kann globale und irreversible Umweltwirkungen auch als *Mengeneffekt* verursachen, durch eine extreme quantitative Steigerung je für sich relativ harmloser Eingriffe. Hier sei auf den Treibhauseffekt durch CO₂-Emissionen verwiesen oder auf die Möglichkeit der irreversiblen Zerstörung von Tropenwäldern durch Brandrodung und Axt. Was mit diesen Technologien aber nur durch die immense quantitative Steigerung erreicht wird, kann mit den extrem eingriffstiefen Technologien 'auf einen Schlag' (mit vergleichsweise geringem Aufwand) bewirkt werden.

Aber auch eine dritte Möglichkeit muss noch erwähnt werden. Sie ist mit der Eingriffstiefe in gewissem Sinne verwandt, nur dass es sich dabei nicht um die besondere Qualität (den besonderen Ansatzpunkt) des Eingriffs dreht, sondern um einen *besonderen 'Zustand' des Systems, in das eingegriffen wird*. In der Dynamik von Systemen kann es Zustände höchster Instabilität (bzw. Sensibilität) geben. Während solcher Zustände kann selbst der schon sprichwörtlich gewordene 'Schmetterlingsflügelschlag' den nächsten Tornado auslösen. Auch der berühmte Domino-Effekt gehört hierher.

Ein auf die Vermeidung globaler und irreversibler Umweltprobleme bedachtes Vorsorgeprinzip gebietet deshalb neben der Betrachtung der 'Quantität der Eingriffe', der Betrachtung der 'Qualität des Eingriffs' (der 'Charakterisierung von Technologien', 'Eingriffstiefe' u.a.) auch noch die Betrachtung des 'Zustands (und der Architektur) des Systems', in das eingegriffen wird.

2.3 Partnerschaft mit der Natur

In einem partnerschaftlichen Verhältnis zur Natur wird nicht gegen sie, sondern mit ihr gearbeitet. Die Natur wird als Vorbild und (soweit als möglich) als 'Partner' im technischen Handeln betrachtet, man versucht, von der Natur zu lernen. Ökologisches Verhalten zielt so gesehen auf eine möglichst angemessene, 'naturgemäße' Form des Umgangs mit Natur und sollte nicht länger mit 'Nichteingreifen in die Natur' gleichgesetzt werden. Es geht um ein geschicktes (einfühlsames, mimetisches) Agieren zwischen den bzw. mit den Naturkräften und -strukturen. Es geht um das 'Einklinken' in ohnehin ablaufende Naturprozesse, um eine 'überlistende Judotechnik', um die gezielte Förderung und Zusammenarbeit mit der natürlichen Produktivität bis hin zur - den Produktivismus und Utilitarismus schon tendenziell hinter sich lassenden - Partnerschaft mit der Natur. Eine solche Partnerschaft kann sich z.B. bei der Gestaltung von Kulturlandschaften einstellen, als 'Heimat' und Raum für die Entfaltung von Mensch *und* Natur (Mitproduktivität der Natur, Selbstentfaltung, Selbstdarstellung der Natur). Die grundlegenden Überlegungen gehen hier auf Ernst Bloch zurück (Bloch 1973, 729ff.). Biologische Techniken bieten sich für einen solchen Ansatz geradezu an. Er ist aber keinesfalls auf sie beschränkt.

2.3.1 Das Kriterium Sophistication

Das auf den partnerschaftlichen Umgang mit Natur bezogene Leitbild kann mit dem Blochschen Begriff der 'Mitproduktivität' gefasst werden. Für das diesem Leitbild entsprechende Kriterium der Technikbewertung möchte ich 'Sophistication' vorschlagen, was wohl am ehe-

sten mit Ausgeklügeltheit zu übersetzen wäre. Sophistication ist zwar ein theoriegeleitetes und im Prinzip operationalisierbares Kriterium. Die Operationalisierung ist allerdings noch nicht sehr weit gediehen. Sowohl das Leitbild Mitproduktivität als auch das Kriterium Sophistication müssen deshalb hier - ausgehend von ihrem theoretischen Hintergrund - vorwiegend anhand gelungener Beispiele erläutert werden.

Wenn etwas 'sophisticated' ist, dann heißt das, dass es sich um eine 'elegante Lösung' handelt, wie wir sie aus der Mathematik kennen, geschickt, intelligent, nicht mit Gewalt und ohne umständlichen Aufwand. So sollte die ökologisch effiziente Technik der Zukunft, die Alternative zur eingriffstiefen Steigerung der Wirkmächtigkeit und Effektivität aussehen.

Wir haben z.B. verschiedene Möglichkeiten, um Lasten mit Schiffen fortzubewegen. Die meisten beruhen darauf, dass wir ein Feuer entfachen, um damit eine Maschine anzutreiben, eine Dampfmaschine oder einen Motor. Es gibt natürlich auch die Möglichkeit, sich in ohnehin ablaufende Naturprozesse einzuklinken, wie es mit Segelschiffe geschieht. Wahrhaft sophisticated ist es allerdings erst, wenn man sich nicht nur vor dem Wind treiben lässt, sondern wenn man sich gegen diese von vorn kommende Naturkraft nicht mit Gewalt, sondern durch geschicktes 'Kreuzen gegen den Wind' vorwärts bewegt. Das ist 'sophisticated technology', intelligentes Bewegen zwischen und Arbeiten mit den Naturkräften, nicht stur und mit hohem Aufwand gegen sie.

Das Kriterium 'Sophistication' ist das Ergebnis eines Versuchs, mit Kriterien aus Werten zu arbeiten, die nicht nur die Grenze des Zumutbaren zu fixieren versuchen, wie es bei den Kriterien der Natur- und Sozialverträglichkeit der Fall ist, sondern mit denen beurteilt werden kann, inwieweit eine Technik einem wünschenswerten Zustand, hier z.B. dem Ziel eines naturgemäßen Umgangs mit Natur bzw. einer 'ökologischen Technik' nahe kommt. So wie damit Risikotechnologien und extremen Naturbeherrschungstechnologien das wünschenswerte Ziel einer ökologischen Technik gegenübergestellt werden kann, so könnte und müsste im stofflichen Bereich der Schadstoffdiskussion das Ziel der 'Gesundheit', 'Heilung', Therapie und Prophylaxe nicht

nur bei Organismen, sondern evtl. auch von Ökosystemen mit Hilfe von 'Heilmitteln' (Arzneien), Mitteln zur Stärkung der 'Abwehrkräfte' und dergleichen entgegengesetzt werden⁵⁾.

Es soll nicht gegen die Natur, sondern mit ihr gearbeitet werden, die Natur wird als Vorbild und möglicher Partner genommen, es wird versucht, von ihr zu lernen. Theoretische und praktische Ausprägungen dieses Konzepts reichen von der Naturphilosophie in der Tradition Jacob Böhmes und Schellings bis zur Bionik und zum Konzept einer 'Sanften Chemie'⁶⁾. Es geht um ein angepasstes, kenntnisreiches, einfühlsames, mimetisches, möglichst naturgemäßes Agieren zwischen den bzw. mit den Naturkräften und -strukturen. Die wichtigste Ressource für diesen Weg ist Verständnis und Kenntnis der ohnehin ablaufenden Naturprozesse⁷⁾.

Die Operationalisierung des Kriteriums Sophistication steht erst am Anfang. Wichtige Orientierungen für den Umgang mit Stoffen und erste Operationalisierungsschritte bieten die folgenden drei Grundprinzipien:

-
- 5) Vgl. das 'eco-system health' Konzept, wie es z.B. von der 'International Society for Aquatic Ecosystem Health' und der International Society for Ecosystem Health and Medicine' verfochten wird. Mit solchen Konzepten würde dann allerdings, ebenso wie das bei der Medizin der Fall ist, der Bereich der 'reinen' Naturwissenschaft verlassen. Theorien vom Naturhaushalt und insbesondere die in diesem Feld derzeit dominierenden 'Ökosystemtheorien' unterscheiden sich von der Medizin ja gerade darin, daß sie diese normative Dimension der 'Gesundheit' und 'Heilung' nicht kennen. Auf der anderen Seite gibt es durchaus erfolgreiche Beispiele für eine Renaturierung von Biotopen bzw. für die Wiederherstellung (restoration) von Ökosystemen, und auch die kompensatorische Kalkung von Waldböden kann nur ein erster hilfloser und mit beträchtlichen Nebenwirkungen verbundener Schritt sein.
 - 6) Vgl. zur Bionik z.B. Nachtigall 1992, VDI 1993, von Gleich 1997b, zum Konzept einer 'Sanften Chemie' z.B. Linden 1988, Fischer 1994, von Gleich 1994, Mackwitz 1997 und zum den eng verwandten Ansatz der 'Naturstrategien' (bzw. der 'Orientierung an den Stoffumwandlungsprinzipien der Natur') von Osten 1991, Heydemann 1993 und Sturm, Fliege 1994 sowie das gleichnamige Studienprogramm des Umweltministeriums Schleswig-Holstein, zu dem auch die Studie 'Kleben in der Natur und in der Technik' mit ihren wunderbaren Beispielen gehört, vgl. Ambsdorf u.a. 1993.
 - 7) Insofern sind die Erkenntnisse der 'Chemischen Ökologie' (vgl. z. B. Sondheimer, Siemeone 1970, Harborne 1977, Barbier 1979) für eine 'Sanftere Chemie' wichtiger als die Erkenntnisse der 'Ökologischen Chemie' (vgl. Korte 1987).

- Suchen vor dem Konstruieren!
- Von der Natur lernen!
- Gewachsene Strukturen und Komplexität achten!

Die 'Herkunft' der Stoffe betreffend: Suchen vor dem Konstruieren!

Die Natur hat im Laufe ihrer Naturgeschichte einen ungeheuren Reichtum an Kräften, Formen, Strukturen und Organismen hervorgebracht und tut dies immer noch. Mit diesem Reichtum und mit dieser Produktivität gilt es, in kultivierender Form zum Wohle beider zusammenzuarbeiten. Von den rund zwei Millionen bekannten Organismenarten auf der Erde (5 - 10 Millionen könnten es tatsächlich sein) sind bisher allenfalls fünf Prozent auf biologische Inhaltsstoffe, noch weniger auf biologische Leistungen hin untersucht. Bevor wir uns mit extrem eingriffstiefen Technologien der synthetischen Chemie und der Gentechnik für einen bestimmten stofflich-technischen Zweck einen Stoff bzw. einen Organismus zurecht schneiden, sollten wir im Sinne des Vorsorgeprinzips und der verminderten Eingriffstiefe zunächst prüfen, ob nicht die Natur uns eine vergleichbare Leistung schon evolutionär 'zur Verfügung gestellt' hat.

So ist die Enzymtechnik, sind Enzyme z.B. ein sehr interessantes Feld für eine ökologische Technik, für 'sophisticated technology' im Bereich der Chemie (hohe Ressourceneffizienz und wenig Nebenprodukte durch hoch spezifische Reaktionen, geringer Energieverbrauch und geringe technische Risiken durch milde (physiologische) Reaktionsbedingungen). Zur 'Sanften Chemie' kann die Enzymtechnik allerdings nur dann gezählt werden, wenn die Enzyme z.B. aus Pflanzen oder Abfällen extrahiert und nicht gentechnisch produziert werden.

Eine viel längere Tradition hat das Suchen vor dem Konstruieren bei der Gewinnung von Pharmazeutika aus Pflanzen. Das 'Screening' ist in der Pharmakognosie eine lange bewährte Strategie. In der pharmazeutischen Industrie erlebt sie derzeit einen Aufschwung, weil die 'Blindflugstrategie' des mehr oder weniger ziellosen Synthetisierens von Chemikalien, um diese erst im zweiten Schritt auf eine mögliche

pharmakologische Wirkung zu untersuchen, kaum noch bezahlbar ist. Dort wird jetzt wieder verstärkt auf das Erfahrungswissen der Menschen, auf Heilpflanzen aus allen Ländern der Erde als Ausgangspunkt für Weiterentwicklungen zurückgegriffen.

Die Strategie des Suchens vor dem Konstruieren müsste auch auf andere technische Bereiche, z.B. auf das Färben, Konservieren, auf Pflanzenschutz, Antioxidantien, Weichmacher technische Öle usw. ausgedehnt werden (vgl. Korte 1991). Auch auf diesen Gebieten kann gezielter gesucht, kann auf das uralte in Jahrtausenden angesammelte Erfahrungswissen der Menschen weltweit zurückgegriffen werden. Man kann die stoffliche Grundlage alter Praktiken bzw. Techniken untersuchen und auf einer wissenschaftlichen Basis weiterentwickeln. Dann könnte man durch Rückgriff auf bio-organische Stoffe die ökologischen Risiken im Vergleich zum Inverkehrbringen von Xenobiotika auf eine wissenschaftlich und technisch bewältigbares Maß zurückführen.

Den 'Einsatz' der Stoffe betreffend: Von der Natur lernen!

Naturstoffe haben in der Regel eine 'Funktion' im Naturhaushalt und für den einzelnen Organismus, wobei wir zwischen abiotischen und biotischen Stoffkreisläufen und innerhalb der letzteren zwischen toxikologisch relativ unproblematischen (Massen)Stoffen des Primärstoffwechsels bzw. Stütz- und Bewegungsapparats und den toxikologisch problematischeren 'biologisch aktiven' Stoffen des Sekundärstoffwechsels unterscheiden können. Den 'natürlichen' Funktionen biologisch aktiver Stoffe spürt die Chemische Ökologie nach. Aus der 'natürlichen' Funktion von Stoffen ergeben sich wichtige Hinweise für Möglichkeiten und Grenzen ihres technischen Einsatzes. Stoffe des Sekundärstoffwechsels und biologisch aktive Stoffe bieten aufgrund ihres unüberschaubaren Reichtums stofflich-technisch und ökonomisch die größeren Chancen. Naturstoffe oder von ihnen abgeleitete Stoffe haben z.B. am Weltpharmamarkt einen Anteil von mindestens 30 % und ein Volumen von etwa 150 Milliarden DM.

Für den verantwortbaren Einsatz biologisch aktiver Naturstoffe ist allerdings eine sehr weitgehende Kenntnis ihrer natürlichen Funktionen gefordert, denn gerade mit dem Einsatz von Stoffen mit biologischen Schutz-, Regulations- und Kommunikationsfunktionen können nicht nur große technische Chancen, sondern auch große (öko-)toxikologische Risiken verbunden sein.

'Von der Natur lernen' bedeutet, z.B. Pflanzenschutz zu betreiben mit Hilfe der Strategien, die die Pflanzen selbst entwickelt haben, um sich zu schützen. Das praktizieren biologische Landwirtschaft und biologischer Gartenbau schon lange, auf der Basis von Erfahrungswissen, wenn z.B. die Möhre und die Zwiebel zusammengepflanzt werden, weil die Möhre die Zwiebelfliege und die Zwiebel die Möhrenfliege abhält. Aber auch hier könnte uns eine verständnisvolle ('gegenstandsgemäße') wissenschaftliche Durchdringung, z.B. mit Hilfe der 'Chemischen Ökologie', erheblich mehr Möglichkeiten eröffnen (vgl. Rice 1983, Green 1986, Thompson 1985).

Ein anderes Beispiel für sophisticated technology im Sinne des Lernens von der Natur stellt die Biokonservierung dar. Die heute vorherrschende Form von Nahrungsmittelkonservierung geht von der Vorstellung aus, dass wir es mit potentiellen Schaderregern zu tun haben, und dass wir diese vernichten müssen. Wir kennen diesen Ansatz auch aus dem Pflanzenschutz und aus der allopathischen Medizin. Konservierung läuft dann auf Sterilisierung hinaus, auf das Töten alles möglichen Lebens durch Hitze, durch Strahlen oder durch Chemikalien. Es gibt aber auch eine geradezu gegenteilige Strategie, die Konservierung durch 'Verlebendigung', wie sie beim Sauerkraut oder beim Joghurt praktiziert wird. Hier sind es Milchsäurebakterien, die die entsprechenden ökologischen Nischen besetzen, und die gleichzeitig ein milchsaures Milieu produzieren, das den mikrobiellen Konkurrenten die Ansiedlung erheblich erschwert (Hennlich 1988).

Ein noch nicht in technischem Maßstab realisiertes Beispiel für ein Lernen von der Natur stellt die Spinnenseide dar. An diesem Beispiel kann zudem - ähnlich wie beim oben geschilderten Beispiel der Pyrethroide - verdeutlicht werden, dass die Orientierung am natürlichen

Vorbild noch lange kein Garant für eine sanfte ökologische Technik sein muss. Die Fäden, die von Spinnen produziert werden, stellen in ihrer Vielfalt und in ihren Eigenschaftskombinationen einen geradezu phantastischen Werkstoff dar. Mit bis zu sieben verschiedenen Spinnrüden sind manche Spinnen in der Lage, Fäden mit den verschiedensten Eigenschaften zu produzieren, zum Fangen (Dehnbarkeit, Klebrigkeit), zum Konservieren der Beute, zum eigenen Schutz (Haltbarkeit), als Fortbewegungshilfe usw. (BMFT 1993). Zur 'Entsorgung' nicht mehr gebrauchter Fäden werden sie als proteinhaltige Nahrung wieder verspeist. Die Seide einiger Seidenspinnen ist doppelt so reißfest wie Stahl und 50 mal so dehnbar wie Perlon. Inzwischen wird an mehreren Stellen auf der Welt intensiv an Spinnenseide geforscht, unter anderem auch im Auftrag der US-Armee, die sich auf diesem Wege bessere schusssichere Westen und bessere Fallschirme erhofft. Zur Gewinnung von Spinnenseide werden parallel drei Strategien verfolgt. Zum einen werden derzeit Versuchsspinnen 'gemolken', d.h. es werden ihnen pro Tag bis zu 100 m Spinnenseide abgezogen. Die Tiere werden dazu mit CO₂ betäubt und fixiert. Dies mag eine ethisch (gegenüber den Spinnen) nicht völlig unproblematische Lösung sein, mit Blick auf die möglichen ökologischen Wirkungen ist sie aber vergleichsweise überschaubar, am ehesten wohl noch vergleichbar mit der traditionellen Gewinnung von Wolle oder Seide (der Seidenraupe). Die anderen beiden Strategien bestehen darin, dass die Spinnenseide auf chemischem Wege synthetisiert, oder dass ein für Spinnenseide codierendes Gen in ein kultivierbares Bakterium eincloniert wird. Auf beiden Wegen konnten schon geringe Mengen an Spinnenseide hergestellt werden.

Den Umgang mit den Stoffen und Strukturen betreffend: Die gewachsene Struktur und Komplexität achten!

Die dritte Maxime zur Operationalisierung von Sophistication 'Gewachsene Strukturen und Komplexität achten!', entspricht teilweise dem schon vorgestellten Kriterium 'Umgang mit Ordnungsniveaus'. Auch dies ist am einfachsten anhand eines Beispiels darzustellen: Bei der Papierherstellung leisten wir uns seit geraumer Zeit so ziemlich

das Gegenteil eines achtsamen Umgangs mit Ordnungsniveaus. Papier wurde bis Mitte des vorigen Jahrhunderts aus Pflanzenfasern hergestellt, also aus Leinen- und Baumwollresten. Nach dem oft mehrmaligen textilen Gebrauch der Pflanzenfasern folgten (als erste Form von Wiederverwertung auf der nächstniedrigeren Ordnungsstufe im Sinne eines treppen- bzw. kaskadenförmigen 'Down-cycling') mehrere Gebrauchszyklen der Fasern im Papierbereich. Eine historische Konstellation, bei der u.a. Faserknappheit, großer Waldbesitz und ein Zeitungsmonopol in den USA zusammenspielten, hatte Ende des vorigen Jahrhunderts zum endgültigen Durchbruch der Umstellung der Papierherstellung auf Holz geführt. Dieser Schritt hat verschiedene problematische Konsequenzen. Zunächst muss die an sich wertvolle gewachsene Struktur des Werkstoffes Holz mechanisch zerstört, zur Faser klein gerieben werden. Dann muss in einem energie- und chemikalienaufwendigen Prozess mehr als die Hälfte der Holzinhaltsstoffe, v.a. das Lignin, chemisch herausgelöst werden. Erst dann ist man bei der für das Papier nutzbaren Zellulosefaser angelangt, während die vorher verwendeten Pflanzenfasern ohnehin schon die gewünschte Faserstruktur vorweisen und ohnehin schon zu ca. 95 % aus Zellulose bestehen. Dies mag erklären, wie es möglich war, selbst die Verarbeitung eines Naturprodukts zu einem der umweltproblematischsten Produktionsverfahren zu machen.

Der Grundsatz, 'die gewachsene Struktur und Komplexität achten!', hat auch Konsequenzen für den Einsatz 'Nachwachsender Rohstoffe'. Die meisten hochkomplexen Pflanzenstrukturen, insbesondere isolierte wertvolle Naturstoffe wie Zucker/Alkohol oder Rapsöl, sind zum Verbrennen schlicht zu schade (vgl. Abb. 3). Eine nur energetische Nutzung so genannter 'nachwachsender Rohstoffe' missachtet diesen Grundsatz, ebenso ein denkbarer Ersatz von Erdöl durch Pflanzenöle auf der untersten Ebene der derzeitigen Synthesebäume. Eine zukünftige, nachhaltige, im Wesentlichen nachwachsende 'Naturprodukte' verarbeitende, 'chemische' Industrie müsste auf dem schon pflanzlich erzeugten molekularen Niveau ansetzen und würde dann, was ihre Rohstoffsituation anbelangt, im Unterschied zur heutigen Petrochemie auf tausenden von unabhängigen 'Beinen' stehen. Sie wäre

ganz anders in die Stoffumsätze der Biosphäre eingebettet und hätte eine Unzahl von natürlichen Quellen und Senken.

Als Operationalisierungsaspekte von Sophistication können somit zusammengefasst werden:

1. *Mit der Natur arbeiten nicht gegen sie.* Geschicktes, einfühlsames, kenntnisreiches, mimetisches Agieren mit bzw. zwischen den natürlichen Strukturen und Naturkräften. *Einklinken in ohnehin ablaufende Naturprozesse.*
2. *Von der Natur lernen.* Beachten der 'natürlichen Funktion' von Stoffen und Strukturen. *Zusammenarbeit mit der natürlichen Produktivität.* Kultivieren.
3. *Suchen vor dem Konstruieren.* *Gewachsene Strukturen und Komplexität achten.*
4. *Nutzung der gewachsenen natürlichen Strukturen möglichst auf dem jeweils höchsten molekularen und energetischen Niveau (Ordnungsniveau).*
5. Wenn das Niveau schon nicht mehr gehalten werden kann, dann *Nutzung möglichst in Form einer Kaskade*, bei der das Ergebnis der vorherigen Nutzung zum immer noch wertvollen Ausgangspunkt der nächsten Nutzungsform wird.
6. Beachtung, ja gezieltes Setzen auf die *'Multifunktionalität'* von Strukturen und Stoffen in Organismen bzw. von biologischen Ressourcen in Ökosystemen und damit auch optimierte *Mehrfachnutzung* von Pflanzen bzw. ihrer verschiedenen Teile.
7. Den *Bearbeitungsgrad* von Stoffen und Organismen so gering wie möglich halten, bzw. sich *nach der natürlichen Funktion der Stoffe bzw. nach dem geplanten Einsatz* der bearbeiteten Stoffe richten.

3. Vom Parasitismus, über den Kommensalismus zur Symbiose?

Es wurde aber schon angedeutet, dass die Hoffnungen, die mit dem Ziel einer 'Mitproduktivität der Natur' verbunden werden, noch weiter gehen. Nicht nur möglichst wenig Aufwand soll getrieben, nicht nur möglichst wenig Schäden sollen angerichtet werden. Partnerschaft bedeutet schließlich nicht nur Behutsamkeit im Umgang miteinander, sondern sie zielt auf 'naturgemäße Technik', auf ein Zusammenwirken der Produktivität des Menschen mit der (evolutionären und ökologischen) Produktivität der Natur in einer Allianztechnik. Sie zielt auf ein 'Zusammenwirken zum Wohle beider'.

Wir können uns dieser Zielperspektive in zwei Stufen nähern. Ein schönes Beispiel für die erste Stufe, bei dem zum Teil gegen, zum Teil mit der Natur gearbeitet wird, war die geschilderte Biokonservierung von Lebensmitteln, die Konservierung durch Verlebendigung. Damit ist schon angedeutet, was wir uns evtl. unter dem 'Wohl der Natur' vorstellen können. Beim Evolutionsbiologen Portmann findet sich der Ansatz einer Antwort zumindest im Hinblick auf die belebte Natur. Er meinte in der biologischen Evolution eine Tendenz zur 'Selbstentfaltung' und bei den Organismen eine Tendenz zur 'Selbstdarstellung' erkennen zu können (vgl. Portmann 1970). Auch wenn der Begriff des 'Selbst' dem Identitätsbewusstsein des abendländischen Menschen entlehnt ist, und somit sicher eine unzulässige Projektion darstellt (vgl. Müller 1977), dürfte er damit etwas Wesentliches getroffen haben. Es geht um 'Spielräume' und 'Freiheitsgrade', um eine Verbesserung nicht nur der menschlichen, sondern auch der natürlichen Evolutions- bzw. Entwicklungsmöglichkeiten, ohne dass dabei teleologische Anleihen gemacht, an ein schon fest stehendes Ziel gedacht werden muss.

In der zweiten Stufe wird als Näherung an dieses Ziel einer Partnerschaft, einer Entwicklung zum Wohle beider Seiten, immer wieder auf die alten, auf einer extensiven Nutzung basierenden, Kulturlandschaften verwiesen (Bloch 1973, Suchantke 1994, Meyer-Abich 1997), die sowohl dem Menschen Heimat waren, und die auch zugleich, durch

ihre reiche Gegliedertheit, mehr Raum boten für die Selbstentfaltung und Selbstdarstellung von Organismen, als der vorher dort meist vorherrschende Wald mit deutlich geringerer ökologischer Vielfalt. Immerhin sind es in viel größerem Ausmaß diese über lange Zeiträume hinweg entwickelten und vergleichsweise stabilen (wenn auch auf menschlichen Input in Form von kultivierender - und damit auch disziplinierender - Arbeit angewiesenen Kulturlandschaften, die wir heute mit 'Naturschutzprogrammen' zu schützen versuchen, neben den Flächen, wie z.B. Moore und Watt, die mehr oder minder ohne Zutun des Menschen so geworden sind.

Über den weiterhin nötigen Naturschutz für solche Flächen hinaus, auf denen die Natur sich soweit als möglich ohne Eingriffe des Menschen selbst entwickelt und entfaltet (die Naturschutzverbände fordern ca. 10 % der Fläche in den Industriestaaten), ist also Partnerschaft mit der Natur das Ziel für den Großteil des kultivierten Landes. Hier stehen Entwicklungssprünge an von der Naturbeherrschung (Parasitismus) über die Naturnutzung ohne allzu großen Schaden anzurichten (Kommensalismus) bis hin zur echten Partnerschaft mit der Natur (Symbiose). Es ist zu hoffen, dass wir diese Entwicklungssprünge in nicht allzu ferner Zukunft schaffen können. Denn wie viel Zeit uns dafür bleibt, wie lange die ökologische Tragekapazität der Erde solche Entwicklungen noch zulässt, wissen wir nicht.



Literatur

- ◆ Ambsdorf, J., Mieth, A., Peter, M. G.: Strategien und Techniken des Klebstoffeinsatzes in der Natur - Anregungen für die Technik. Kiel 1992
- ◆ Bahn, M., Intemann, K.: Vergleichende Ökobilanz von Waschmittelproteasen der ersten und zweiten Generation. In: Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e. V.: Dokumentation des zweiten Enzym-Workshops 'Gentechnologisch hergestellte Waschmittel-Enzyme' am 2. März 1995. Frankfurt/M. 1995:

- ◆ Barbier, M.: Introduction to Chemica. London 1979
- ◆ Bloch, E.: Das Prinzip Hoffnung (1953), Bd. 2 . Frankfurt/M. 1973
- ◆ Boehringer Mannheim: Produktionsintegrierter Umweltschutz bei Boehringer Mannheim. Mannheim 1994
- ◆ Brewer, P., Helbig, N., Haard, N. F.: Atlantic Cod Pepsin - Characterisation and Use as a Rennet Substitute. In: Canadian Institute of Food Science and Technology Journal 17, Nr. 1 1984
- ◆ Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) (Hrsg.): Technologien des 21. Jahrhunderts. Einige anschauliche Beispiele. Bonn 1993
- ◆ Carson, R.: Der stumme Frühling,. München 1962
- ◆ Enquête-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt (Hrsg.): Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bonn 1994
- ◆ Enquête-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt (Hrsg.): Konzept Nachhaltigkeit - Fundamente für die Gesellschaft von morgen. In: Zur Sache 1/97, Bonn 1997
- ◆ Fischer, H.: Plädoyer für eine Sanfte Chemie. Über den nachhaltigen Gebrauch der Stoffe. Karlsruhe 1993
- ◆ Gleich, A. v.: Der wissenschaftliche Umgang mit der Natur - Über die Vielfalt harter und sanfter Naturwissenschaften. Frankfurt/M. 1989
- ◆ Gleich, A. v.: Sanfte Chemie - eine Innovationsperspektive für die chemische Industrie. In: Universitas 49. Jg., Heft 8 1994
- ◆ Gleich, A. v.: Biotechnologie. Ansprüche an sanfte Forschung und Technologie. In: Bündnis 90/Die Grünen Bundestagsfraktion (Hrsg.): Enzym-Technologie im Sog der Gentechnik? In: lang & schlüssig 13/61, Bonn 1997a

- ◆ Gleich, A. v.: Was können und was sollen wir von der Natur lernen? In: Ders. (Hrsg.): Bionik - Ökologische Technik nach dem Vorbild der Natur? Stuttgart 1997b (im Erscheinen)
- ◆ Green, M. B., Hedin, P. A. (eds.): Natural Resistance of Plants to Pests: Roles of Allelochemicals, Am. Chem. Soc., ASC Symp. Ser. 296, Washington D.C. 1986
- ◆ Harborne, J. B.: Introduction to Ecological Biochemistry. London. 1977
- ◆ Hennlich, W.: Biokonservierung von Lebensmitteln: Hemmung von lebensmittelverderbenden und lebensmittelvergiftenden Mikroorganismen durch eine erwünschte Konkurrenzflora (Starter- bzw. Schutzkulturen). In: Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung (Hrsg.): Tätigkeitsbericht 1988. München 1988
- ◆ Heydemann, B.: Naturstrategien - Leitbild einer neuen Stoffwirtschaft. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung. Z. f. Umweltchem. u. Ökotox. 5. Jg, Heft 6 1993
- ◆ Holling, C. S.: New Science and New Investments for a Sustainable Biosphere. In: Jansson, A., Hammer, M., Costanza, R. (eds.): Investing in Natural Capital - The Ecological Economics Approach to Sustainability. Washington D. C. Covelo 1994
- ◆ IDARio Interdepartementaler Ausschuss Rio: Elemente für ein Konzept der nachhaltigen Entwicklung. Diskussionsgrundlage für die Operationalisierung. Bern 1995
- ◆ IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC Second Assessment - Synthesis of Scientific-Technical Information Relevant to Interpreting Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change, Port Chester, N.Y. 1996

- ◆ Jäger-Mischke, I., Wollny, V.: Pyrethrum und Pyrethroide. Ein Beitrag zur Naturstoffdiskussion, Werkstattreihe Nr. 50, hg. vom Öko-Institut Freiburg. Freiburg 1988
- ◆ Jonas, H.: Das Prinzip Verantwortung - Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation. Frankfurt/M. 1979
- ◆ Jonas, H.: Warum die moderne Technik ein Gegenstand für die Ethik ist. In: Ders.: Technik, Medizin und Ethik. Zur Praxis des Prinzips Verantwortung. Frankfurt/M. 1985, S. 42 ff.
- ◆
- ◆ Korte, F.: Ersatz von synthetischen Produkten durch umweltfreundliche Naturgrundstoffe, Abschlussbericht BMFT-Forschungsauftrag 87 NR 041. München 1991
- ◆ Korte, F. (Hrsg. unter Mitarbeit von M. Badahier et al.): Lehrbuch der Ökologischen Chemie. Grundlagen und Konzepte für die ökologische Beurteilung von Chemikalien. Stuttgart 1987
- ◆ Linden, W.: Produzieren mit der Natur (und nicht gegen sie). In: Held, M. (Hrsg.): Chemiepolitik: Gespräch über eine neue Kontroverse. Weinheim 1988
- ◆ Mackwitz, H., Hantschk, A., Hiel, C., Hingst, W., Neumann, C., Leeb, R., Schemitz, S.: ALCHEMIA-NAWARO. Nachwachsende Rohstoffe und Sanfte Chemie - Theoretische Grundlagen, Chancen und Perspektiven für Österreich, Forschungsprojekt im Auftrag des Österreichischen Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung. Wien 1997
- ◆ Meyer-Abich, K. M.: Praktische Naturphilosophie - Erinnerung an einen vergessenen Traum. München 1997
- ◆ Meadows, D. u. a.: Die Grenzen des Wachstums. Reinbek 1973
- ◆ Müller, R. W.: Geld und Geist. Zur Entstehungsgeschichte von Identitätsbewusstsein und Rationalität seit der Antike. Frankfurt/M. 1977

- ◆ Nachtigall, W.: Technische Biologie und Bionik - was ist das? In: Ders.: BIONA report 8. Stuttgart. 1992
- ◆ Osten, W. v.: Zielrichtung der chemiepolitischen Diskussion: Orientierung am Leitbild >Strategien und Wirtschaftsprinzipien der Natur<,. In: Held, M. (Hrsg.): Leitbilder der Chemiepolitik - Stoffökologische Perspektiven der Industriegesellschaft. Frankfurt/M. 1991
- ◆ Portmann, A.: Probleme der lebendigen Erscheinung. In: Ders.: Entlässt die Natur den Menschen? Gesammelte Aufsätze zur Biologie und Anthropologie. München 1970
- ◆ Rees, W. E., Wackernagel, M.: Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of the Human Economy. In: Jansson, A., Hammer, M., Costanza, R. (eds.): Investing in Natural Capital - The Ecological Economics Approach to Sustainability. Washington D. C. Covelco 1994
- ◆ Rice, E. L.: Pest control with natures chemicals. Norman 1983
- ◆ Sauter, A.: Monitoring - Stand und Perspektiven der Katalysatoren- und Enzymtechnik. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, TAB Arbeitsbericht Nr. 46 1996
- ◆ Schmidt-Bleek, F.: Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS - Das Maß für ökologisches Wirtschaften. Berlin 1994
- ◆ Solvay: Enzyme - umweltschonende Biokatalysatoren, Solvay Enzymes. Nienburg 1995
- ◆ Sondheimer, E., Simeone, J. B. (eds): Chemical Ecology. New York 1970
- ◆ Sturm, K.-D., Fliege, E. R. L.: Orientierung an den Strategien und Wirtschaftsprinzipien der Natur im Umgang mit Stoffen und Energie. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung. Z. f. Umweltchem. u. Ökotox. 6. Jg., Heft 4 (1994)

- ◆ Suchantke, A.: Partnerschaft mit der Natur. Entscheidung für das kommende Jahrtausend. Stuttgart 1994
- ◆ Thompson, A. C. ed.: The Chemistry of Allelopathy: Biochemical Interaction Among Plants, Am Chem. Soc. ACS Symp. Ser. 268, Washington D. C. 1985
- ◆ Verein Deutscher Ingenieure (VDI Technologiezentrum Physikalische Technologien) (Hrsg.): Analyse und Bewertung Zukünftiger Technologien - Technologie-Analyse Bionik. Düsseldorf 1993
- ◆ Weizsäcker, E. U. v.: Erdpolitik: Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt. Darmstadt 1990
- ◆ Weizsäcker, E. U. v., Lovins, A. B., Lovins, L. H.: Faktor vier. Doppelter Wohlstand - halbiertes Naturverbrauch. Der neue Bericht an den Club of Rome. München 1995
- ◆ WGBU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel: Wege zur Lösung globaler Umweltprobleme. Berlin 1995
- ◆ Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie: Zukunftsfähiges Deutschland - Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung, Eine Studie im Auftrag von BUND und Misereor, Endbericht September 1995. Wuppertal 1995

Ines Weller

Zur Bedeutung von Wissen für Verhaltensänderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung

1. Vorbemerkungen

Meine Auseinandersetzung mit der Frage nach der Bedeutung von Wissen für Veränderungen in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung erfolgt auf dem Hintergrund des sozial-ökologischen Ansatzes (vgl. Jahn, Wehling 1995; Jahn, Wehling, Weller 1996). Ich verstehe die so genannte ökologische Krise als eine Krise des gesellschaftlichen Umgangs mit den natürlichen Ressourcen. Daher kann die Suche nach Lösungen für die derzeitigen Krisenphänomene nicht den Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern, Technikerinnen und Technikern sowie Ökologinnen und Ökologen allein überlassen werden, sondern muss in interdisziplinärer Zusammenarbeit erfolgen. Auch wenn dieser Anspruch heute schon beinahe trivial erscheint, ist seine Realisierung noch keineswegs selbstverständlich und mit einer Vielzahl offener Fragen verbunden.

Die Vorarbeiten für die Überlegungen zu Umweltwissen und Umweltverhalten stammen zu einem Großteil aus einer Studie, die ich zusammen mit Irmgard Schultz im Auftrag des Umweltbundesamtes im letzten Jahr erstellt habe¹⁾. Im Rahmen dieser Studie untersuchten wir auch die Forschung zu Umweltbewusstsein und Umweltverhalten unter der Frage, wie ihre Ergebnisse in Hinblick auf Möglichkeiten, die in Kapitel 4 der Agenda 21 geforderten nachhaltigen Konsummuster zu fördern, zu bewerten sind.

1) Es handelt sich um die Vorstudie "Nachhaltige Konsummuster und postmaterielle Lebensstile. Schwerpunkt 2: Bestandsaufnahme sozialwissenschaftlicher Forschung", die 1997 als UBA-Text veröffentlicht werden soll (UBA-Forschungsvorhaben Nr. 101 07 131/02).

Ich werde mich im Folgenden vor allem auf die Frage nach der Bedeutung von Wissen für Verhaltensänderungen in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung konzentrieren, genauer gesagt danach fragen, zu welchen Ergebnissen die Umweltbewusstseinsforschung über den Einfluss von Wissen auf Umweltverhalten kommt. Denn die auf dieser Tagung diskutierte "Sonnenwende" als eine Strategie einer dauerhaft umweltverträglichen Entwicklung erfordert nicht nur neue Produkte, Materialien und neue Techniken, d.h. technische Innovationen, sondern auch soziale Innovationen, z.B. Verhaltensänderungen und Veränderungen in den Anspruchsroutinen.

2. Über den Zusammenhang von Umweltwissen, Umweltbewusstsein und Umweltverhalten

Auf der Suche nach Wegen, menschliches Verhalten ressourcenschonender zu gestalten, hat die Erforschung des "Phänomens" Umweltbewusstsein in den letzten 25 bis 30 Jahren zunehmend an Aufmerksamkeit gewonnen. In der Bundesrepublik gewann Umweltbewusstsein Ende der 70er Jahre im Wesentlichen im Kontext der Umweltbewegung als einer "Neuen Sozialen Bewegung" an Bedeutung (vgl. Wehrspau 1995). Umweltbewusstsein wurde zu einem Schlüsselbegriff, der zunächst vor allem alltagssprachlich benutzt wurde: Umweltbewusstsein als Voraussetzung und Motor für die Entwicklung umweltverträglicherer Verhaltensweisen. Als entscheidend für die Entwicklung und Förderung von Umweltbewusstsein wurde die Vermittlung von Umweltwissen angesehen. Diese Einschätzung hatte einen realen Hintergrund: Mitte/Ende der 70er Jahre gab es in der BRD tatsächlich ein Defizit an öffentlich verfügbarem und vor allem vertrauenswürdigem Wissen über die Umweltzerstörung und -belastung in der Bundesrepublik. Eine weitere Anfangsthese der Umweltbewusstseinsdebatte ging von der Annahme aus, dass aus (dem "richtigen") Umweltwissen quasi automatisch Umweltbewusstsein resultiere, das seinerseits ebenfalls wieder quasi automatisch zur Umsetzung von Umweltverhalten führe.

Bis heute ist der Begriff Umweltbewusstsein wegen seiner stark alltagssprachlichen Prägung äußerst vieldeutig und umfasst ein breites Spektrum an umweltorientierten Einstellungen *und* Verhaltensweisen wie z.B. die Mülltrennung im privaten Haushalt, das Engagement für eine Umweltinitiative oder die Wahrnehmung von Umweltrisiken.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hat in seinem Umweltgutachten von 1978 eine bis heute viel beachtete und verwendete Definition von Umweltbewusstsein vorgestellt, die Umweltbewusstsein als "Einsicht in die Gefährdung der natürlichen Lebensgrundlagen des Menschen durch diesen selbst, verbunden mit der Bereitschaft zur Abhilfe" beschreibt (SRU 1978, 445).

Im Gegensatz zu der vieldeutigen Verwendung des Begriffs Umweltbewusstsein im Alltag versucht die empirische sozialwissenschaftliche Forschung, eindeutige Definitionen für "Umweltbewusstsein" zu entwickeln sowie seine Einflussfaktoren und Quantitäten zu bestimmen. Eine allgemein anerkannte einheitliche Definition steht noch aus, jedoch überwiegt ein Verständnis, nach dem Umweltbewusstsein ein mehrdimensionales kognitives Konstrukt ist (vgl. Dierkes, Fietkau 1988; Urban 1986, 1991; Grob 1991; Littig 1995; zusammenfassend de Haan, Kuckartz 1996). Dies bedeutet: Umweltbewusstsein kann nicht als eigenes Phänomen beobachtet und gemessen werden, sondern wird aus verschiedenen Dimensionen "konstruiert". Diese werden einzeln empirisch bestimmt und aus den jeweiligen Ergebnissen auf das Ausmaß von Umweltbewusstsein geschlossen.

In diesem Konstrukt Umweltbewusstsein wird Wissen, genauer Umweltwissen, als eine wesentliche Dimension betrachtet. Grundlegend hierfür ist das Modell von Maloney und Ward aus dem Jahre 1973, auf das sich ein Großteil der Forschung über Umweltbewusstsein und Umweltverhalten bezieht. Nach diesem Modell sind für die Bestimmung von Umweltbewusstsein folgende Dimensionen zu berücksichtigen:

- actual commitment: (selbstberichtetes) tatsächliches Handeln
- verbal commitment: (selbstberichtete) Handlungsbereitschaft
- affect: Emotionen in Bezug auf Umweltfragen
- knowledge: ökologisches Wissen (Maloney, Ward 1973).

Umweltwissen wird also von der Umweltbewusstseinsforschung als ein wichtiges Element von Umweltbewusstsein begriffen und geht von daher auch in die Untersuchungen über Umweltbewusstsein und Umweltverhalten ein.

Seit einiger Zeit lässt sich in der Umweltbewusstseinsforschung ein Perspektivenwechsel dahingehend beobachten, dass das Konstrukt Umweltbewusstsein an Bedeutung verliert. In den Mittelpunkt des Interesses rückt das Umweltverhalten, das als eigenständiger Aspekt und nicht mehr als eine Dimension von Umweltbewusstsein untersucht wird. Gleichzeitig zeichnet sich die Tendenz ab, auch die anderen Elemente von Umweltbewusstsein, d.h. Umweltwissen und die Betroffenheit von Umweltproblemen, getrennt zu bestimmen und nicht mehr unter das Konstrukt Umweltbewusstsein zu subsumieren. Vorrangig wird nun der Frage nachgegangen, von welchen Faktoren Umweltverhalten abhängt und welchen Einfluss in diesem Zusammenhang Umweltbewusstsein, begriffen als umweltorientierte Einstellung, ausübt (vgl. Lange 1995; BMU 1996; Preisendörfer, Franzen 1996).

Darin kommt u.a. zum Ausdruck, dass die ursprüngliche - angesichts von Erkenntnissen der Psychologie über den geringen Zusammenhang von Einstellung und Verhalten allgemein - eher naive Annahme von Teilen der Umweltbewegung, Umweltwissen führe zu Umweltbewusstsein, aus dem quasi automatisch Umweltverhalten resultiere, revidiert werden musste. Stattdessen ist davon auszugehen, dass ein komplexes Wirkungsgefüge unterschiedlicher Einflussfaktoren, zu denen auch Umweltwissen und Umweltbewusstsein gehören, Verhaltensänderungen in Richtung auf umweltverträglichere Verhaltensweisen bewirken kann. So gehen Dierkes & Fietkau von fünf wesentlichen Voraussetzungen für Umwelthandeln aus:

- Hinreichendes Wissen um ökologische Zusammenhänge (Umweltwissen)
- ökologische Wertvorstellungen (Umweltbewusstsein)
- Verhaltensangebote für umweltverträgliche Verhaltensweisen (z.B. attraktiver ÖPNV, umweltverträgliche Produktalternativen, umweltfreundliche Tourismusangebote, erreichbare Sortier- und Sammel-

angebote für Wert- und Problemstoffe, Pfandsysteme für Verpackungen usw.)

- Handlungsanreize (materielle und immaterielle Verstärkung, z.B. Verteuerung von Parkplätzen in der Innenstadt bei gleichzeitiger Senkung der Kosten für die Nutzung des ÖPNV; Auszeichnungen für Umweltengagements von Schulen usw.)
- Rückkopplungen der Handlungsfolgen (Feedback über die Folgen des eigenen Verhaltens; z.B. durch den Einbau von Wasseruhren, Verdeutlichen der Effekte von Verhaltensänderungen durch Abfallpyramiden, Kohlendioxidminderungen einer Region usw.) (Dierkes & Fietkau 1988).

Erdmann & Wehner haben die verschiedenen Faktoren in folgendem Einflusschema zusammengefasst (siehe Abb. 1).

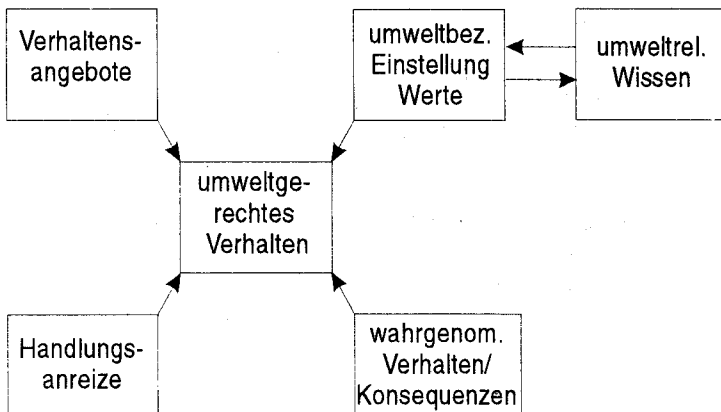


Abb. 1: Einflusschema für Umweltverhalten (ver. nach Erdmann, Wehner 1996, 156)

Danach liegt die Bedeutung von umweltrelevantem Wissen darin, Einstellungsänderungen, z.B. eine Zunahme von Umweltbewusstsein, bewirken zu können. Dieses beeinflusst - neben und in Wechselwirkung mit anderen Faktoren - die Umsetzung umweltgerechter Verhaltensweisen. Darüber hinaus wird eine Wechselwirkung zwischen Wissen und Einstellung insofern angenommen, dass umweltbezogene Einstellungen als Anreiz wirken können, weiteres Umweltwissen zu

erwerben, das dann wiederum zu einem gesteigerten Umweltbewusstsein führen kann (Erdmann, Wehner 1996).

Umweltwissen wird heute als ein - direkter oder indirekter - Faktor neben anderen für die Realisierung von Umweltverhalten angesehen. Unstrittig ist, dass eine Vielzahl weiterer Faktoren wie Verhaltens- und Anspruchsroutinen, die Einbindung in soziale Netze und Lebensstilorientierungen für ökologische Verhaltensänderungen ebenfalls von Bedeutung sind (vgl. Kruse-Graumann 1996; Schultz, Weller 1997).

3. Empirische Ergebnisse über das Ausmaß des Einflusses von Umweltwissen auf Umweltverhalten

In einer zusammenfassenden Bewertung von 84 empirischen sozialwissenschaftlichen Studien aus den letzten 10 Jahren kommt Kuckartz zu dem Ergebnis, dass zwar nur vergleichsweise wenige explizit den Zusammenhang zwischen Umweltwissen, Umweltbewusstsein und Umweltverhalten bearbeiten, sie aber im Wesentlichen ähnliche Schlüsse ziehen (Kuckartz 1995; de Haan, Kuckartz 1996).

Sie stellen erstens einen positiven Einfluss von Umweltwissen auf Umweltbewusstsein bzw. Umweltverhalten fest, betonen aber gleichzeitig, dass sein Ausmaß nur äußerst gering sei. Als Beispiel sei die öffentlich viel diskutierte Untersuchung von Diekmann und Preisendörfer angeführt, die zwischen Umweltwissen und Umweltbewusstsein eine Korrelation von .10 ermittelten (Diekmann, Preisendörfer 1992). Zu ähnlichen Resultaten kommt eine Studie von Grob, die nur 10 % der Varianz von Umweltbewusstsein auf Umweltwissen zurückführte und zwischen Umweltwissen und -handeln keinerlei Zusammenhänge mehr erkennen konnte (Grob 1991). Auch Langeheine und Lehmann konstatierten nur einen geringen bis gar keinen Einfluss von Wissen auf Handeln (Langeheine, Lehmann 1986). Sie ermittelten für den Zusammenhang zwischen ökologischem Wissen und eher symbolischem ökologischen Handeln²⁾ einen Regressionskoeffizienten von

2) Darunter ist zu verstehen: Reden, überzeugen sowie Unterstützung und Wahl einer als umweltschutzfreundlich angesehenen Partei.

0.11. Überhaupt keinen messbaren Einfluss von Umweltwissen konnten sie dagegen auf „ökologisches Handeln im eigenen Haushalt“ feststellen.

Vergleichbare Resultate zeigen sich für den Einfluss von Umweltbewusstsein auf Umweltverhalten. So liegt der Pfadkoeffizient für den Zusammenhang von Umweltbewusstsein und Umweltverhalten in der schon genannten Studie von Diekmann und Preisendörfer bei .15, denselben Korrelationsfaktor fanden sie für die direkte Beziehung zwischen Umweltwissen und Umweltverhalten. Die repräsentative Untersuchung von Billig über das ökologische Problembewusstsein der Bevölkerung konstatierte einen etwas höheren, jedoch gleichfalls vergleichsweise geringen Beitrag des Umweltbewusstseins für Umweltverhalten (Billig 1994). Sie ermittelte hierfür einen Regressionskoeffizienten mit dem Wert .23³⁾.

Daraus schließt Kuckartz zusammenfassend: "Die Ergebnisse der Umweltbewusstseinsforschung zu den Determinanten des Umweltbewusstseins sind also eindeutig: Der Zusammenhang von Umweltwissen und Bewusstsein ist relativ gering, die Effekte von Wissen und Bewusstsein auf das Verhalten sind unbedeutend. (Kuckartz 1995, 82). Nach meiner Einschätzung überwiegt diese Ansicht in der aktuellen Forschung zu Umweltbewusstsein und Umweltverhalten. Es finden sich jedoch auch positivere Beurteilungen der Bedeutung des Umweltwissens. So folgern Erdmann und Wehner in einer aktuellen Veröffentlichung des Deutschen Nationalkomitees für das UNESCO-Programm "Der Mensch und die Biosphäre" (MAB) und der Deutschen UNESCO-Kommission: "Grundsätzlich lassen die Ergebnisse o.g. Untersuchungen den Schluss zu, dass die Abgabe von Informationen über Umwelt und Natur an Versuchspersonen und die damit verbundene Änderung ihrer Wissensbasis eine wenn auch schwache positive Auswirkung auf das Verhalten im Umweltbereich hat: größeres Wissen über ökologische/ökosystemare Zusammenhänge hat

3) Zum Vergleich: Für den Zusammenhang zwischen Wohneigentum und Umweltverhalten ermittelten sie einen Wert von .40, zwischen Wohnortgröße und Umweltverhalten einen Wert von .35 und zwischen Erwerbstätigkeit und Umweltverhalten einen Wert von .54

demnach tendentiell auch umweltverantwortlicheres Handeln zur Folge" (Erdmann, Wehner 1996, 156).

Ob ein Einfluss um 10 % als vernachlässigbar oder als immerhin bemerkenswert eingeschätzt wird, darüber lässt sich streiten. Vor einer abschließenden Bewertung der verschiedenen Positionen über den Einfluss von Umweltwissen auf Umweltverhalten möchte ich jedoch zunächst einen genaueren Blick auf das den verschiedenen Studien zugrundeliegende Verständnis von Umweltwissen sowie seiner Operationalisierungen, d.h. Übersetzungen in konkrete Fragestellungen werfen, mit denen es erfragt wurde.

4. Definitionen und Operationalisierungen des für Umweltverhalten relevanten Wissens seitens der Umweltbewusstseinsforschung

Die Umweltbewusstseinsforschung definiert die Wissenskomponente von Umweltbewusstsein vorrangig über ökologisch-naturwissenschaftlich-technisches Wissen, wie z.B. Erdmann und Wehner, die von einem "Sachwissen über ökologische/ökosystemare Zusammenhänge einschließlich dem Wissen über die Umweltproblematik" ausgehen (Erdmann, Wehner 1996, 155). Ähnlich definiert Kuckartz Umweltwissen als "Kenntnisse und Informationen, die Individuen über Umwelt und Natur, Flora und Fauna, über ökologische Zusammenhänge und Probleme besitzen" (Kuckartz 1995, 72).

Ein Blick auf die Fragestellungen, mit denen die Dimension Umweltwissen in den empirischen Untersuchungen erfasst wird, verdeutlicht dieses stark naturwissenschaftlich-ökologische geprägte Verständnis des für Umweltverhalten relevanten Wissens. Beispielsweise bestimmen Diekmann und Preisendörfer in ihrer Untersuchung von 1992 die Wissensdimension mit folgenden neun Wissensfragen:

- Kosten einer Kilowattstunde Strom für den Haushalt
- Wissen, wie weit der nächste Altpapier- bzw. Altglascontainer vom Wohnhaus entfernt ist

- Anteil der Waldfläche, die geschädigt ist
- Baumart, die am stärksten gefährdet ist
- Zahl der in der BRD/Schweiz befindlichen Atomkraftwerke
- Ort des nächst gelegenen Atomkraftwerkes
- Bedeutung der Abkürzung FCKW
- Wissen um die Auswirkungen von FCKW
- Kenntnis von zwei oder mehr Umweltschutzorganisationen (Diekmann, Preisendörfer 1992).

Vergleichbare Wissensfragen finden sich auch in anderen empirischen Studien, so z.B. bei Grob sowie bei Langeheine und Lehmann.

Abgesehen davon, dass diese Fragen im Wesentlichen ein reines Faktenwissen ohne Einsicht in ökosystemare Zusammenhänge abfragen, fehlt in dieser Studie ebenso wie in den meisten anderen auch eine explizite Begründung, warum die jeweiligen Items als das für Umweltverhalten relevante Umweltwissen ausgewählt wurden.

Die Frage, welches Wissen für Veränderungen des eigenen Verhaltens überhaupt von Bedeutung ist, wird von der Umweltbewusstseinsforschung insgesamt kaum thematisiert. Littig, die eine qualitative Befragung zu Umweltbewusstsein im Alltag durchgeführt hat, stellt als eine der wenigen die Frage nach Art und Ausmaß des für Umweltbewusstsein und Umweltverhalten relevanten Wissens. Als ein Ergebnis ihrer eigenen Befragungen betont sie, dass nicht naturwissenschaftlich-ökologisches Expertenwissen, sondern vor allem ein "einfaches" Wissen über die "umweltschädlichen Folgen" einzelner Verhaltensweisen sowie ein "alltagsrelevantes Rezeptwissen" z.B. über umweltbewusste Umsetzungsmöglichkeiten und Handlungsalternativen, entscheidend für die Bereitschaft bzw. Realisierung von Umweltverhalten sei (Littig 1995).

Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen ist darüber hinaus zu vermuten, dass sich dieser geringe Einfluss von Umweltwissen auf Umweltbewusstsein und Umweltverhalten nicht generalisieren lässt, sondern stattdessen als bereichsspezifisch zu charakterisieren ist. Die Effekte von Umweltwissen auf Umweltverhalten unterscheiden sich zwischen verschiedenen Gegenstandsbereichen des Umweltschutzes

wie Abfall, Energie oder Verkehr. In einzelnen umweltrelevanten Handlungsbereichen wie Verkehrsverhalten oder Energiesparen scheint Umweltwissen sich sogar eher negativ auf das Umweltbewusstsein bzw. Umweltverhalten auszuwirken.

Die Feststellung eines geringen positiven Zusammenhangs zwischen Wissen und Umweltverhalten muss danach angesichts dessen, wie in den verschiedenen Studien in der Regel Umweltwissen begriffen wird, relativiert werden. Sie lässt sich bisher nur auf die Wirksamkeit eines spezifischen Wissensbereiches, des naturwissenschaftlich-ökologisch-technischen Faktenwissens, beziehen. Hieraus folgt, dass anhand der vorliegenden Studien die Frage nach der Bedeutung von Wissen für soziale Innovationen in Richtung Nachhaltigkeit noch keineswegs ausreichend beantwortet werden kann. Es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf zu der Frage, welches Wissen und vor allem auch für wen in welcher Situation, für die Umsetzung eines umweltverträglichen Verhaltens relevant ist.

5. Definitionen des Umweltverhaltens seitens der Umweltbewusstseinsforschung

Für ebenfalls problematisch halte ich an den meisten empirischen Untersuchungen, die Ausmaß und Einflussfaktoren von Umweltverhalten bestimmen, dass sie häufig stillschweigend davon ausgehen, dass eindeutige und allgemein anerkannte Vorstellungen und Definitionen über Umweltverhalten existierten. In keiner der bisher angeführten repräsentativen, standardisierten Arbeiten wurde von den Autorinnen und Autoren ihr Verständnis von Umwelthandeln, das sie mit den jeweiligen Operationalisierungen erfassen wollen, explizit erläutert bzw. begründet. So entsteht der Eindruck, es sei unstrittig, was unter Umweltverhalten zu verstehen ist. Dies trifft jedoch nicht zu, es finden im Gegenteil in der Öffentlichkeit eher kontroverse Diskussionen darüber statt, welche Verhaltensweisen als umweltverträglicher zu betrachten sind (z.B. der Kauf von Baumwoll-Textilien oder von Polyester-Kleidungsstücken).

Außerdem möchte ich noch zu bedenken geben: Ein "Umweltverhalten" als solches gibt es ebenso wenig wie ein absichtsvoll umweltschädliches Handeln. Menschen konsumieren, sie essen, trinken und kleiden sich, sie arbeiten, sie sind auf der Suche nach Anerkennung und Liebe usw. Ein bestimmtes Verhalten wird in der Regel dann als Umweltverhalten verstanden, wenn zusätzlich Umweltkriterien aufgenommen werden, z.B. beim Einkauf von Lebensmitteln die Entscheidung für ökologisch angebautes Gemüse, beim Heizen die Reduzierung der Raumwärme oder für den Weg zur Arbeit die Wahl des ÖPNV. Umweltbelastungen oder -schäden sind keine Handlungsziele von Einzelnen, sondern vielmehr sich verstärkende Nebenfolgen oder Nebenwirkungen innerhalb komplexer Prozesse.

Mit welchen Fragestellungen erfragt nun die Umweltbewusstseinsforschung Umweltverhalten? Diekmann und Preisendörfer beispielsweise ermittelten das persönliche Umweltverhalten mit folgenden Items:

Operationalisierungen zur Bestimmung von Umweltverhalten

(zusammengefasst nach Diekmann, Preisendörfer 1992)

Umweltfreundliches Einkaufsverhalten:

- Regelmäßige Mitnahme einer Einkaufstasche
- Verzicht auf Getränke in Dosen
- Milchkauf in Pfandflaschen bzw. offen
- Einkaufen in Bio- bzw. Ökoläden in den letzten zwei Wochen

Umweltbewusste Abfallbeseitigung:

- Abfalltrennung bei Papier/Zeitungen
- Abfalltrennung bei Glas
- Abfalltrennung bei Aluminium/Weißblech
- Abfalltrennung bei Batterien

Umweltschonender Umgang mit Energie:

- Eingeschränkte Vollbadhäufigkeit
- Bemühen um geringen Warmwasserverbrauch
- Abdrehen der Heizung bei längerer Abwesenheit
- Verzicht auf einen Wäschetrockner im Haushalt

Umweltfreundliches Verkehrsverhalten:

- Verzicht auf den Besitz eines Autos
- Nutzung öffentlicher Nahverkehrsmittel in der letzten Woche
- Verzicht auf das Auto am Wochenende
- Verzicht auf Auto bzw. Flugzeug bei der letzten Urlaubsreise

Billig setzte in seiner 1994 veröffentlichten Untersuchung folgende Items zur Erfassung des Umweltverhaltens ein.

Operationalisierungen zur Bestimmung von Umweltverhalten:

(zusammengefasst nach Billig 1994)

Ich werde zukünftig

- Batterien entsorgen
- Medikamente sammeln
- energiearme Geräte kaufen
- Lackreste entsorgen
- Kunststoffe sammeln
- Chemikalienreste sammeln
- ein benzinarmses Auto kaufen
- organischen Abfall sammeln
- weniger Strom verbrauchen
- weniger Wasser verbrauchen
- weniger Auto fahren
- weniger heizen

In einer ihrer neueren Untersuchungen des Umweltbewusstseins in Deutschland erfragten Diekmann und Preisendörfer das Umweltverhalten getrennt nach den folgenden vier Bereichen (BMU 1996):

- Einkaufen/Konsum
- Müll/Recycling
- Energiesparen/Wasserverbrauch im Haushalt
- Auto/Verkehr

(Ein Teil der hierzu entwickelten Fragestellungen sind im Anhang aufgeführt.)

Die angeführten Beispiele verdeutlichen einerseits die erheblichen Unterschiede in den Auffassungen über umweltverträglichere Verhaltensweisen. So reicht das Spektrum des Umweltverhaltens im Verkehrsbereich von „Verzicht auf Autobesitz“ bei der 92er Untersuchung von Diekmann und Preisendörfer über „zukünftig weniger Autofahren“ bzw. „beim Kauf eines Autos auf geringen Benzinverbrauch achten“ in der Billig-Studie bis hin zu der Frage nach der Häufigkeit der Verwendung des Autos in der Freizeit und den Spaßfahrten in der 96er-Untersuchung des BMU, die von Diekmann und Preisendörfer durchgeführt wurde.

Andererseits zeichnen sich viele der Fragestellungen durch eher weiche und wenig verbindliche Formulierungen sowie ein vergleichsweise geringes Ausmaß an Verhaltensumstellungen und sozialen Innovationen aus. So kommen auch Bodenstein und Spiller zu dem Schluss, "Umweltbewusstsein ist, darauf verweisen die abweichenden Werte der verschiedenen Untersuchungen, letztlich eine nur normativ zu bestimmende Variable. Es ist offensichtlich, dass die Angaben unterschiedlich ausfallen, je nachdem, ob sich die Fragen auf kleinteilige Schritte etwa im Rahmen der Abfallwirtschaft oder auf einen langfristigen und global tragfähigen Lebensstil beziehen" (Bodenstein, Spiller 1996, 8)

6. Aus Sicht der Nachhaltigkeitsdebatte notwendige Verhaltensänderungen

Im Rahmen der aktuellen Nachhaltigkeitsdebatte wird von der Umweltforschung und Umweltpolitik eine Vielzahl von Verhaltensumstellungen diskutiert. Hierzu gehören Maßnahmen zur Verlängerung der Produktlebensdauer (z.B. durch Reparaturfreundlichkeit, modularer Aufbau, Sharing-Konzepte), zur Verringerung des Konsumniveaus ("Weniger ist mehr"), zur Regionalisierung von Produktion und Konsum oder zur Verwendung nachwachsender Rohstoffe (Solarmaterialien). So nennt die Studie "Zukunftsfähiges Deutschland" in ihrem Leitbild "Gut leben statt viel haben", das sich an KonsumentInnen richtet, vier Kriterien für Verhaltensänderungen:

- Sparsamkeit
- Regionalorientierung: beim Einkauf und bei der Erholung am Wochenende
- Gemeinsame Nutzung: Orientierung am Nutzen und nicht am Eigentum (Dienstleistungsangebote, Leasingangebote, Sharingmodelle)
- Langlebigkeit (BUND/Misereor 1996).

Neben diesen konkreten Vorschlägen und eher allgemeinen Leitbildern einer ökologischen Umorientierung zeichnet sich an neueren Instrumenten und Strategien, die von der Umweltforschung für die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung entwickelt werden, ab, dass sie immer häufiger aktueursspezifisch konkretisiert werden. So geht

beispielsweise auch das neue umweltpolitische Instrument Stoffstrommanagement, das in der Bundesrepublik vor allem von der Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" eingeführt wurde, von der Notwendigkeit der akteursspezifischen Übernahme von Verantwortung für Verhaltensänderungen aus. Dieses Instrument soll zu einem "aktiv gestaltende(n) Umgang mit Stoffen auf allen Ebenen der Verantwortung" führen (Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestags 1994, 547). Dabei werden die Ebenen der Verantwortung nach dem jeweiligen Abschnitt im Lebensweg eines Produktes bzw. eines Stoffstromes auf die hierfür entscheidenden Akteure verteilt. Aus der Akteursspezifität von Verantwortung folgt für mich auch die Akteursspezifität des für die Übernahme von Verantwortung erforderlichen Wissens, d.h. das für Umweltverhalten relevante Wissen hängt direkt sowohl von der jeweiligen Person als auch ihrem jeweiligen situativen Kontext ab.

Diese Diskussionen (sowohl bezogen auf die Vorschläge zu Verhaltensänderungen als auch zur Akteursspezifität) werden von der Forschung über Umweltbewusstsein und Umweltverhalten bisher jedoch nur in ersten Ansätzen aufgegriffen und in die Operationalisierungen von Umweltbewusstsein und Umweltverhalten noch kaum einbezogen. Dies ist nach meiner Einschätzung auch auf die Grenzen disziplinärer Untersuchungen - in diesem Fall der Sozialwissenschaften - zurückzuführen. Erforderlich wäre vielmehr ein interdisziplinärer Zugang aus Sozialwissenschaften und Umweltforschung oder zumindest eine Öffnung der Sozialwissenschaften für die Fragen- und Problemstellungen sowie Lösungsansätze der Umweltforschung.

Die Grenzen der disziplinären Betrachtung lassen sich auch für die Umweltforschung zeigen. Diese setzt beispielsweise insbesondere für Veränderungen des Verbraucherverhaltens nach wie vor hauptsächlich auf Strategien zur ökologischen Aufklärung. Die Enquête-Kommission sieht in diesem Zusammenhang in der Vermittlung von Umweltinformationen sogar den "Königsweg" des Umweltschutzes (Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestags 1994, 687). D.h. auch sie nimmt ihrerseits Ergebnisse anderer Disziplinen wie der sozialwissenschaftlichen Umweltbe-

wusstseinsforschung, wie die Diskussion der geringen Verhaltensrelevanz von Umweltwissen, kaum wahr.

Aus den eher unklaren und vieldeutigen Definitionen von Umweltwissen, Umweltbewusstsein und Umweltverhalten sowie den widersprüchlichen Ergebnissen der Umweltbewusstseinsforschung ist zu schließen, dass eine abschließende Einschätzung der Bedeutung von Wissen und Umweltbewusstsein auf Verhaltensänderungen in Richtung nachhaltige Entwicklung zur Zeit noch kaum möglich ist. Es mehren sich jedoch Stimmen und empirische Hinweise, dass die von der Umweltbewusstseinsforschung diagnostizierte Kluft zwischen Wissen, Bewusstsein und Verhalten noch genauer daraufhin überprüft werden muss, inwieweit sie die tatsächlichen Verhältnisse beschreibt oder ob sie nicht vielmehr auf unklare Forschungsdesigns zurückzuführen ist.

7. Ein Gegenbeispiel

So kommt beispielsweise ein Forschungsvorhaben zum Mobilitätsverhalten in der Freizeit, das am Institut für sozial-ökologische Forschung durchgeführt wird, zu dem Ergebnis, dass es einen erkennbaren Zusammenhang zwischen Umwelteinstellung und Verhalten gibt (Götz 1997). In diesem Verbundforschungsvorhaben wurde jedoch nicht ein allgemeines Umweltbewusstsein eines repräsentativen Querschnitts der deutschen Bevölkerung erfasst und dann mit Aussagen über Umweltverhalten verglichen. Stattdessen ging dieses Vorhaben von der Ausdifferenzierung der Bevölkerung nach unterschiedlichen Lebensstilen aus. Demzufolge bestand einer der ersten Schritte des Projekts darin, die Lebensstile der Bewohnerinnen und Bewohner der in die Untersuchung einbezogenen Modellstadt Freiburg zu identifizieren. Hierbei wurden für Freiburg fünf grundsätzlich verschiedenen Lebensstile ermittelt:

1. die statusorientierten Automobilisten
2. die traditionell Häuslichen
3. die traditionell Naturorientierten
4. die risikoorientierten Autofans
5. die ökologisch Entschiedenen.

Die letzte Gruppe, mit einem Anteil von rund 17 % in Freiburg, ist auch nach dem Verständnis der Umweltbewusstseinsforschung als umweltbewusst einzustufen: Die Frauen und Männer dieses Typs begeistern sich für das Fahrrad, geben dem öffentlichen Personennahverkehr den Vorrang und sind eher auto-kritisch eingestellt. Dagegen stehen die risikoorientierten Autofans mit einem Anteil von rund 20 % in Freiburg zum Spaß am Autofahren und lehnen Straßenbahnfahren oder Zufußgehen ab. In dieser Gruppe dominieren zahlenmäßig die vollzeiterwerbstätigen Männer mittleren Alters.

Erst nachdem diese Typologie vorlag, wurde sie mit dem Verkehrsverhalten der einzelnen verglichen (untersucht mit der Methode der Verkehrstagebücher: Bestimmung konkreter Wege an Werktagen und Wochenenden). Hier zeigte sich nun keine Diskrepanz, sondern eine deutliche Übereinstimmung zwischen Einstellung und Verhalten: Die risikoorientierten Autofans wählten bei 62 % aller Wege das Auto (5 % öffentlichen Personennahverkehr, 14 % Fahrrad, 19 % zu Fuß), während die "ökologisch Entschiedenen" nur 15 % aller Wege mit dem Auto (31 % Fahrrad, 25 % öffentlicher Personennahverkehr und 29 % zu Fuß) zurücklegten (Götz 1997).

Diese Ergebnisse deuten nun doch auf das Vorhandensein einer Wechselbeziehung zwischen Handlungsorientierung, Einstellung und Verhalten hin. Worauf diese Umweltorientierung zurückzuführen ist und welchen Einfluss hierbei Wissen hat, war jedoch nicht Thema dieser Studie, so dass hierzu keine Aussagen möglich sind. Aber ihre Resultate verweisen auf die Notwendigkeit, dass Strategien zur Verhaltensbeeinflussung wie Maßnahmen der ökologischen Aufklärung die jeweiligen Lebensstilorientierungen ihrer Zielgruppe berücksichtigen müssen.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Dies waren einige Ergebnisse zu dem facettenreichen und vieldeutigen Zusammenhang zwischen Wissen und Verhaltensänderungen, so wie er sich mir anhand der heutigen Umweltbewusstseinsforschung

darstellt. Es ist hoffentlich deutlich geworden, dass sich die Frage "Kann (heutiges) Wissen Veränderungen bewirken?" in dieser allgemeinen Form nicht beantworten lässt. Vielmehr ist zu berücksichtigen, dass Wissen nur Teil eines komplexen Bündels an Einflussfaktoren für Umweltverhalten ist. Darüber hinaus halte ich es für ganz wesentlich, die Akteursspezifität sowie die Situationsabhängigkeit von Wissen zu berücksichtigen, sich also vielmehr mit der Frage zu beschäftigen, welches Wissen für welchen Akteur, für welche Akteurin in welcher Situation für Verhaltensänderungen relevant ist.

Zum Abschluss möchte ich in Thesenform einige weitere Problembe-
reiche und offene Fragen über die Bedeutung und Verhaltensrelevanz
von Wissen zur Diskussion stellen.

1. These

Für langfristig erfolgreiche Verhaltensänderungen (insbesondere der EndverbraucherInnen) ist nicht nur die Frage zu stellen, welches Wissen, welche Informationen diejenigen, die ihr Verhalten ändern sollen, hierfür benötigen und wie es ihnen vermittelt werden kann. Für genauso wichtig halte ich es, das vorhandene Alltagswissen, die alltäglichen Ansprüche, Interessen und Handlungsmöglichkeiten der so genannten Alltagsakteurinnen und Alltagsakteure, d.h. ihre Perspektive über Hemmnisse und Potentiale sozialer Innovationen, zu untersuchen und in die Entwicklung von Strategien zu Verhaltensänderungen mit einzubeziehen.

2. These

Darüber hinaus halte ich für langfristig tragfähige Veränderungen eine wechselseitige Kommunikation zwischen Alltagswissen/-erfahrung und Expertenwissen erforderlich, für die die gegenseitige Anerkennung der jeweiligen Wissensbasis eine wesentliche Voraussetzung ist. Die Notwendigkeit eines solchen "Wissenstransfers" ergibt sich auch aus dem partizipativen Anspruch einer nachhaltigen Entwicklung, wie er beispielsweise in der Agenda 21, dem offiziellen Abschlussdokument der UN-Konferenz zu Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro, zum Ausdruck kommt. Beispielsweise würde eine solche

Perspektivenerweiterung für die ökologische Verbesserung von Produkten bedeuten, dass diese Aufgabe nicht allein von Ingenieurinnen und Ingenieuren gelöst werden kann, sondern von Diskussionen mit Konsumentinnen und Konsumenten sowie anderen Akteuren begleitet werden sollte, wie das dem Produkt zugrundeliegende gesellschaftliche Bedürfnis zukünftig nachhaltiger erfüllt werden kann.

3. These

Weiterhin fehlt für Verhaltensumstellungen nach wie vor ein gesichertes, fundiertes Wissen über die mit einzelnen Verhaltensweisen und -veränderungen verbundenen ökologischen Be- und Entlastungspotentiale, um u.a. ein Feedback auf eigene Verhaltensveränderungen zu ermöglichen. Das Wissen um ökologische Ent- und Belastungsfolgen konkreter Verhaltensweisen könnte darüber hinaus einen wichtigen Beitrag für einen individuellen, flexiblen Umgang mit umweltentlastendem und -belastendem Handeln bieten.



Literatur

- ◆ Billig, A.: Ermittlung des ökologischen Problembewusstseins der Bevölkerung. Umweltbundesamt UBA-FB 93 - 137 (Texte 7/94). Berlin 1994
- ◆ Bodenstein, G., Spiller, A.: Entwicklungsstränge der ökologischen Konsumforschung. Ökologisches Wirtschaften 3/4, 1996, 8 - 11
- ◆ BUND/Misereor (Hrsg.): Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Basel 1996
- ◆ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Umweltbewusstsein in Deutschland. Bonn 1996
- ◆ Diekmann, A., Preisendörfer, P.: Persönliches Umweltverhalten. Diskrepanz zwischen Anspruch und Wirklichkeit. KZfSS 44 1992, H.2, S. 226 - 251

- ◆ Dierkes, M., Fietkau, H.-J.: Umweltbewusstsein - Umweltverhalten. Materialien zur Umweltforschung herausgegeben vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. Karlsruhe 1988
- ◆ Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestags (Hrsg.): Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bonn 1994
- ◆ Erdmann, K.-H., Wehner, G.: Die Bedeutung des Wissens für die Umwelt- und Naturschutzbildung. In: Erdmann, K.-H., Nauber, J. (Hrsg.): Beiträge zur Ökosystemforschung und Umwelterziehung/ Deutsches Nationalkomitee für das UNESCO-Programm "Der Mensch und die Biosphäre (MAB) und Deutsche UNESCO-Kommission (DUK)" Bonn 1996, 151 - 164
- ◆ Götz, K.: Ökolumne. taz, 15./16.02.1997
- ◆ Grob, A.: Meinung - Verhalten - Umwelt. Ein psychologisches Ursachennetz-Modell umweltgerechten Verhaltens. Bern 1991
- ◆ de Haan, G., Kuckartz, U.: Umweltbewusstsein. Denken und Handeln in Umweltkrisen. Opladen 1996
- ◆ de Haan, G. (Hrsg.): Umweltbewusstsein und Massenmedien: Perspektiven ökologischer Kommunikation. Dresden 1995
- ◆ Jahn, T., Wehling, P.: Sozialökologische Zukunftsforschung. Politische Ökologie, Sonderheft 7, 1995, 30 - 33
- ◆ Jahn, T., Wehling, P., Weller, I.: Forschungspolitik für eine nachhaltige Entwicklung. Monitoring-Studie im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Frankfurt/M. 1996
- ◆ Kruse-Graumann, L.: Umweltschutz aus psychologischer Perspektive: Bewusstsein und Verhalten. In: Erdmann, K.-H., Nauber, J. (Hrsg.): Beiträge zur Ökosystemforschung und Umwelterziehung/ Deutsches Nationalkomitee für das UNESCO-Programm "Der Mensch und die Biosphäre (MAB) und Deutsche UNESCO-Kommission (DUK)" Bonn 1996, 171 - 178

- ◆ Kuckartz, U.: Umweltwissen, Umweltbewusstsein, Umweltverhalten. Der Stand der Umweltbewusstseinsforschung. In: Haan, G. de (Hrsg.): Umweltbewusstsein und Massenmedien: Perspektiven ökologischer Kommunikation. Dresden 1995, 71 - 86
- ◆ Lange, H., Hanfstein, W., Lörx, S.: Gas geben? Umsteuern? Bremsen? Die Zukunft von Auto und Verkehr aus Sicht der Automobilarbeiter. Frankfurt/M. 1986
- ◆ Langeheine, R., Lehmann, J.: Die Bedeutung der Erziehung für das Umweltbewusstsein. Kiel 1995
- ◆ Littig, B.: Die Bedeutung von Umweltbewusstsein im Alltag oder: Was tun wir eigentlich, wenn wir umweltbewusst sind? Frankfurt/M. 1995
- ◆ Maloney, M.P., Ward, M.O.: Ecology: Let's Hear from the People. American Psychologist, 28, 1973, 583 - 586
- ◆ Preisendörfer, P., Franzen, A.: Der schöne Schein des Umweltbewusstseins. Zu den Ursachen und Konsequenzen von Umwelteinstellungen in der Bevölkerung. In: KZfSS, Sonderheft 36, 1996, 219-244
- ◆ Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Umweltgutachten 1978. Stuttgart 1978
- ◆ Schultz, I., Weller, I.: Nachhaltige Konsummuster und postmaterielle Lebensstile. (Veröffentlichung als UBA-Text für 1997 geplant)
- ◆ Urban, D.: Die kognitive Struktur von Umweltbewusstsein. Ein kausalanalytischer Modelltest. In: Zeitschrift für Sozialpsychologie 22 (1991), H.3, S.166 - 180
- ◆ Urban, D.: Was ist Umweltbewusstsein? Exploration eines mehrdimensionalen Einstellungskonstruktes. In: Zeitschrift für Soziologie 15 (1986), H. 5, S.363 - 377
- ◆ Wehrspaun, M.: Umweltbewusstsein als soziales Phänomen. UBA-Text 32/95. Berlin 1995

Anhang

Auszug an Fragestellungen und Ergebnissen der BMU-Studie "Umweltbewusstsein in Deutschland" über Einstellung und Verhalten aus den Bereichen "Einkauf/Konsum", "Müll/Recycling", "Energiesparen/Wasserverbrauch im Haushalt" und "Auto/Verkehr" (BMU 1996)

Tabelle 12: Weitere Aspekte des Einkaufs- und Konsumverhaltens (Angaben in %)

Befragte	West	Ost
Einkauf von Getränken in Pfandflaschen		
• immer in Pfandflaschen	57	46
• überwiegend in Pfandflaschen	28	26
• teils/teils	14	23
• nicht in Pfandflaschen	1	5
Verpackungsmaterial in den letzten vier Wochen im Geschäft gelassen		
• fünfmal oder mehr	10	7
• drei- bis viermal	12	9
• ein- bis zweimal	19	22
• gar nicht	55	58
• weiß nicht	4	4
Achten beim Kauf von Obst und Gemüse auf frische Ware der Saison aus der Region		
• immer	23	32
• oft	35	40
• manchmal	24	18
• selten	11	7
• nie	7	3
Wichtigstes Kriterium beim Kauf von Kleidungsstücken		
• Langlebigkeit	45	46
• Preis	40	42
• Mode	15	12
Wichtigkeit von Oberbekleidung, die modisch im Trend liegt		
• überhaupt nicht wichtig	12	6
• eher nicht so wichtig	39	37
• wichtig	43	49
• sehr wichtig	6	8

Bereitschaft zum Kauf gentechnischer Lebensmittel

• überhaupt nicht	41	34
• eher nicht	32	33
• eventuell	22	26
• ja, bereit	5	7

Fragen: (1) In welcher Form kaufen Sie Getränke wie Bier, Mineralwasser und Fruchtsäfte? (2) Wie oft haben Sie in den letzten vier Wochen die vorhandenen Möglichkeiten genutzt, Verpackungsmaterial im Geschäft zurückzulassen? (3) Wie häufig achten Sie beim Kauf von Obst und Gemüse darauf, frische Ware der Saison aus Ihrer Region zu kaufen? (4) Wenn Sie sich neu einkleiden, was von den drei folgenden Dingen ist für Sie am wichtigsten? (5) Wie wichtig ist es Ihnen persönlich, dass ihre Oberbekleidung modisch im Trend liegt? (6) Bei entsprechendem Preis und entsprechenden staatlichen Kontrollen, wären Sie da bereit, gentechnisch-behandelte und gentechnisch-hergestellte Lebensmittel zu kaufen?

Tabelle 15: Häufigkeit des Recyclings verschiedener Materialien (Angaben in %)

Befragte West	immer	häufig	gelegentlich	nie
Papier und Zeitungen	84	11	3	2
Glas	84	11	4	1
Batterien	76	11	7	6
Plastik	66	14	12	8
Konservenbüchsen	66	13	9	12
Medikamente	65	15	10	10
Aluminium	61	13	12	14
Textilien	60	17	12	11
Lebensmittelabfälle	52	15	14	19

Befragte Ost	immer	häufig	gelegentlich	nie
Papier und Zeitungen	86	9	4	1
Glas	83	11	5	2
Batterien	61	10	13	16
Plastik	73	10	10	5
Konservenbüchsen	68	12	9	10
Medikamente	59	13	13	19
Aluminium	59	9	11	17
Textilien	68	14	10	8
Lebensmittelabfälle	56	11	12	21

Frage: Ich nenne Ihnen jetzt verschiedene Dinge, die in einem Haushalt als Abfall anfallen. Sagen Sie mir bitte, ob Sie diese: immer, häufig, gelegentlich oder nie vom Restmüll getrennt sammeln.

Tabelle 16: Zusätzliche Aspekte des Recyclingverhaltens (Angaben in %)

Befragte	West	Ost
Beteiligung am Dualen System		
• ja	71	74
• teils/teils	8	11
• nein	21	15
Recyclingfähige Materialien in den Restmüll		
• nie	24	22
• selten	38	39
• manchmal	26	29
• oft	9	7
• sehr oft	3	3

Fragen: (1) Beteiligt sich Ihr Haushalt am Dualen System, also bei der getrennten Sammlung der Verpackungen, die den Grünen Punkt haben? (2) Wie oft kommt es vor, dass Sie Dinge, die Sie getrennt sammeln könnten, aus irgendwelchen Gründen doch in den Restmüll werfen?

Tabelle 21: Aspekte des „Heizverhaltens“ (Angaben in %)

Befragte	West	Ost
Form des täglichen Lüftens der Wohnung im Winter		
• mehrmals wenige Minuten	35	38
• eine Viertelstunde durchlüften	48	51
• mehrere Stunden Fenster kippen	10	7
• mehrere Stunden Fenster ganz öffnen	5	3
• sonstiges	2	1
Abdrehen/Herunterdrehen der Heizung über Nacht		
• ja, drehe ab/herunter	54	62
• nein, drehe nicht ab/herunter	10	9
• Heizung wird automatisch heruntergestellt	34	23
• Abdrehen ist technisch nicht möglich	2	6
Abdrehen/Herunterdrehen der Heizung bei längerer Abwesenheit		
• ja, drehe ab/herunter	54	57
• nein, drehe nicht ab/herunter	30	22
• Heizungssystem läuft automatisch	13	15
• Abdrehen ist technisch nicht möglich	3	6

Fragen: (1) Wenn Sie im Winter Ihre Wohnung lüften, wie machen Sie das in der Regel?
 (2) Drehen Sie im Winter Ihre Heizung nachts herunter? Was vom Folgenden trifft zu?
 (3) Wenn Sie im Winter Ihre Wohnung für mehr als vier Stunden verlassen, drehen Sie da normalerweise die Heizung ab oder herunter? Was vom Folgenden trifft auf Sie zu?

Tabelle 22: Wasserkostenabrechnung und Hinweise auf den Wasserverbrauch (Angaben in %)

Befragte	West	Ost
Modus der Wasserkostenabrechnung		
• nach Verbrauch	72	69
• pauschales Verfahren	23	30
• weiß nicht, sonstiges	5	1
Nutzung von Wasserspar-Einrichtungen im Haushalt	49	63
Abdrehen des Wassers beim Duschen während des Einseifens/Schamponierens der Haare		
• ja	40	43
• teils/teils	19	19
• nein	37	25
• sonstiges (z.B. keine Dusche)	5	13

Fragen: (1) Bemisst sich die Wasserkostenabrechnung für Ihren Haushalt nach dem tatsächlichen Wasserverbrauch (gemessen durch eine eigene Wasseruhr) oder nach einem pauschalen Verfahren? (2) Haben Sie in Ihrem Haushalt Wasserspareinrichtungen, z.B. eine Wasserspartaste an Ihrer Toilette? (3) Drehen Sie beim Duschen während des Einseifens oder während des Shamponierens der Haare das Wasser ab?

Tabelle 24: Weitere Aspekte des Energiesparverhaltens (Angaben in %)

Befragte	West	Ost
Verwendung von Energiesparlampen im Haushalt		
• ja, ausschließlich	8	11
• teils/teils	44	46
• nein	48	43
Abschalten des Lichts beim Verlassen des Zimmers		
• immer	31	45
• oft	24	27
• manchmal	24	16
• selten	12	8
• nie	9	4
Bereitschafts-Modus beim Fernsehgerät läuft über Nacht		
• nein	47	47
• teils/teils	16	13
• ja	33	33
• keine Fernbedienung/kein Fernsehgerät	4	7

Fragen: (1) Verwenden sie in Ihrem Haushalt Energiesparlampen? (2) Wie häufig schalten Sie das Licht aus, wenn Sie ein Zimmer für kurze Zeit, z.B. für eine Viertelstunden, verlassen? (3) Um beim Fernsehen die Fernbedienung verwenden zu können, muss man das Gerät auf den so genannten Bereitschaftsmodus schalten, so dass ein kleines Lämpchen am Gerät leuchtet. Lassen Sie den Bereitschaftsmodus in der Regel auch über Nacht eingeschaltet?

Tabelle 26: Verkehrsmittelnutzung für Freizeit, Urlaub und Einkaufen (Angaben in %)

Befragte	West	Ost
Hauptsächliche Verkehrsmittel für Wochenendausflüge		
• Auto	65	64
• öffentliche Verkehrsmittel	11	17
• Fahrrad	8	6
• immer zu Fuß	3	3
• Motorrad/Moped/Mofa	1	1
• Person macht keine Ausflüge	12	9
Verkehrsmittel für letzten Urlaub (Mehrfachnennungen)		
• Auto	46	46
• Flugzeug	26	14
• Bus eines Reiseunternehmens	9	21
• Bahn	10	12
• Fahrrad	1	1
• Motorrad/Moped/Mofa	1	0
• Person war nie in Urlaub	8	9
Verkehrsmittel für größere Haushaltseinkäufe (Mehrfachnennungen)		
• Auto	60	57
• zu Fuß	22	28
• Fahrrad	12	11
• öffentliche Verkehrsmittel	4	11
• Fahrrad	8	5
• Motorrad/Moped/Mofa	1	0
• Person macht keine Einkäufe	3	3
Häufigkeit des Herumfahrens mit dem Auto „einfach so aus Spaß“		
• nie	62	67
• selten	23	21
• manchmal	11	8
• oft	3	3
• sehr oft	1	1

Fragen: (1) Welches Verkehrsmittel verwenden Sie hauptsächlich, wenn Sie am Wochenende einen Ausflug machen? (2) Mit welchem Verkehrsmittel sind Sie in Ihren letzten Urlaub gefahren? (3) Wie erledigen Sie in der Regel größere Haushaltseinkäufe? (4) Wie oft kommt es vor, dass Sie einfach so zum Spaß mit dem Auto in der Gegend umherfahren oder auch mitfahren?

Armin Kremer, Lutz Stäudel

Die Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ als Thema des naturwissenschaftlichen Unterrichts¹⁾

- Kritisch-konstruktive Betrachtungen -

Am 23.10.1995 wurde die Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ der Öffentlichkeit vorgestellt. Vom Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) und dem Bischöflichen Hilfswerk Misereor e.V. in Auftrag gegeben, war sie von Natur- und Ingenieur- sowie von Kultur- und Sozialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie erstellt worden. Inhaltlich entwickelt die Studie ein komplexes Instrumentarium und Szenarium: Grenzen der ökologischen Belastbarkeit werden benannt und begründet, Umweltziele formuliert, Reduktionsziele für Energie-, Rohstoff- und Landverbrauch berechnet und schließlich Zukunftsvisionen skizziert, zusammengefasst in Form von Leitbildern und kommentiert mit bereits heute erkennbaren Veränderungen.

Mit der Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ hat einerseits eine neue Phase der Diskussion über „Sustainable Development“ begonnen, die inzwischen breite öffentliche Resonanz gefunden hat. Andererseits hat die Studie auch Bedeutung für Schule und Unterricht: Da sie explizit „Schlüsselprobleme“ der Gegenwart und der absehbaren Zukunft problematisiert, womit - im Klafki'schen Sinne - thematische Dimensionen einer zukunftsorientierten Allgemeinbildung angesprochen werden, lohnt es darüber nachzudenken, wie diese Diskussion über die Studie für den naturwissenschaftlichen Unterricht fruchtbar gemacht werden kann. Dazu muss aber zunächst untersucht werden, von welchen Annahmen die Studie ausgeht und welche Ansprüche sie im Hinblick auf notwendige Veränderungen formuliert.

1) Zuerst erschienen in: Wechselwirkung 19. Jhg. Nr. 87. 1997, 22 - 29

Insgesamt sehen wir die vom Wuppertal Institut realisierte Studie als einen wertvollen Beitrag für die umweltpolitische Diskussion in Deutschland an. Die im Folgenden dargestellten Kritikpunkte an der Studie sind deshalb nicht als „Position zur Studie“ zu begreifen, sondern als Argument in kritisch-konstruktivem Sinn, die in die Diskussion eingreifen und bei der unterrichtsdidaktischen Aufbereitung zu einer Konkretisierung der gesellschaftspolitischen Perspektive beitragen sollen.²⁾

„Sustainable Development“ - ein Modewort

Der Begriff des „Sustainable Development“ hat Karriere gemacht. In den letzten zwei Jahrzehnten wurde er zunächst von kleinen Gruppen, von einzelnen Vordenkern und Aktivisten verwendet, die neue Ideen in den Bereichen Energiesparen, Stadtplanung, Landwirtschaft, Erziehung und Wirtschaft entwickelt und in regionalen Ansätzen umgesetzt haben. Auch wenn die grundlegenden Ideen sehr viel ältere Wurzeln haben, sie reichen zurück in die beginnende Ökologiebewegung Mitte des 19. Jahrhunderts (Linse 1986, Hermand 1991), so fand eine Konvergenz in Richtung auf den Leitbegriff „Sustainable Development“ erst in den letzten Jahren statt. Dieser wurde vom Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung aufgegriffen (Hauff (Hrsg.) 1987) und zum führenden Entwicklungsprinzip erklärt. Aufgrund dieser Publikation begann die bis dahin noch kleine „Sustainable Development“-Bewegung zu einem Sammelbecken für alle möglichen Gruppen und Projekte mit ähnlichen - oder auch ganz anderen - Ideen zu werden.

„Sustainable Development“ ist inzwischen zu einem Modewort geworden, das im deutschen eine Vielzahl von Übersetzungen gefunden hat: *nachhaltige, zukunftsfähige* und *-gerechte, dauerhafte, dauerhaft tragfähige, aufrechterhaltbare* sowie *anhaltende Entwicklung*. Die Vagheit der Wortbedeutung macht zugleich einen Teil der Attraktivität dieses Begriffes aus: „Sustainable Development“ verspricht so eine Vermittlung zwischen den (klassischen) Gegensätzen Entwicklung

2) Zur Kritik an der Studie aus feministischer Sicht Schultz 1996

und Umwelt bzw. Ökonomie und Ökologie, weiter die Harmonisierung (vormals) konfliktiver Interessengruppen, die konzeptionelle Verknüpfung von (natur-)wissenschaftlichen Tatbeständen und abstrakten ethischen Prinzipien.

Die unreflektierte Nutzung der unscharfen Semantik des Begriffs „Sustainable Development“ drückt sich auch in der Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ aus, die laut SPIEGEL gute Chancen hat, zur „grünen Bibel der Jahrtausendwende“ zu werden.

„Sustainable Development“ ist eine gesellschaftliche Leit- und Wertee von Sein-Sollenden. Unter Rückgriff auf Luhmann stellt Conrad fest, dass das Bedeutsame an einer solchen Wertentstehung ist, „dass (gesamtgeseellschaftliche) Werte abgezogen sind von konkreten Normen und Zwecken, die als abstrakte Gesichtspunkte von Handlungsorientierungen konkrete Handlungen gerade nicht festlegen“ (Conrad 1993, 113ff.). Mit anderen Worten: Die Platzierung von „Sustainable Development“ als gesellschaftliche Leit- und Wertee lädt geradezu dazu ein, das Konzept für je spezifische Zwecke und Interessen zu instrumentalisieren. „Es ist also soziologisch zu erwarten und keineswegs erstaunlich, dass zum einen verschiedenartige Vorstellungen kognitiv mit ihm verknüpft werden und zum anderen, dass diskrepante Anforderungen ... interessenbedingt und damit international diesbezüglich vorgetragen werden“ (ebenda). Erwartungsgemäß sind die entsprechenden Operationalisierungsversuche des Leitbildes „Sustainable Development“ vielfältig und widersprüchlich.

Das Zahlenwerk und die Schwächen der Zahlen

Die Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ versucht, das Konzept „Sustainable Development“ konkret für die Bundesrepublik durchzurechnen. Zukunftsfähigkeit wird in quantitativen Maßstäben ausgedrückt, Umweltziele werden definiert und Reduktionsziele benannt. Hierzu gehören die Verringerung des Primärenergieverbrauchs bis zum Jahr 2050 um 50 %, die Reduktion des Verbrauchs an nicht erneuerbaren Ressourcen im selben Zeitraum um 80 - 90 %, die Sen-

kung der CO₂-Emission um 80 - 90 % sowie der Verzicht auf den Einsatz von synthetischem Stickstoffdünger und von Bioziden in der Landwirtschaft bis zum Jahr 2010.

Diese Ergebnisse der Studie - dass nur bei Erreichen der genannten und einiger weiterer Reduktionsziele eine zukunftsfähige Entwicklung möglich sei - sind für das reiche Industrieland Deutschland ausgesprochen niederschmetternd. Angesichts des heute üblichen verschwenderischen Umgangs mit Ressourcen aller Art erscheinen die Forderungen, bis 2050 den Verbrauch an Energie, Rohstoffen, Wasser und Fläche um 80 - 90 % zu reduzieren, ebenso radikal wie absurd. Zudem wird wohl kaum ein Bundesbürger aufgrund dieser Zahlen ab morgen seinen Benzinverbrauch auf ca. 1 Liter pro Tag beschränken. Blicke es bei dem reinen Zahlenwerk, es würde letztlich in der Schublade enden, wie manches andere auch, Seelenfutter für Zahlenhungrige und asketisch besonnene Öko-Puristen.

Das vielleicht Außergewöhnliche an der Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ ist, dass dieses Dilemma den Autorinnen und Autoren klar gewesen sein muss und sie versucht haben, daraus Konsequenzen zu ziehen. Sie verbinden ihre Forderungen mit einem emphatischen Appell an die Vernunft („aufgeklärter Eigennutz“) unter Berufung auf allgemeine, gleiche Interessen aller Menschen im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit. Es wird ein Bild einer ökologischen Gesellschaft entworfen, in der alle (!) nur gewinnen können. Fraglich ist, ob und wie solche Forderungen letztlich dazu beitragen werden, dass die Studie in der praktischen Politik und im Alltag von Produktion und Konsum Chancen auf Erfolg hat. Denn mit technischen Innovationen allein - Stichwort: bessere Ressourcenproduktivität - sind die drastischen Reduktionsziele niemals zu erreichen, bleibt alle Bemühung um umweltverträgliches Leben und Wirtschaften Kosmetik.

Gesellschaftsanalytische Defizite und politische Ideologien

Aufgrund der multidisziplinären Struktur des Wuppertaler Instituts beschränken sich die Autorinnen und Autoren nicht auf das Zahlenwerk, sondern es kommen auch Sozial- und Kulturwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler zu Wort. Sie bemühen sich - zuweilen auch mit moralischem Zeigefinger - aus den radikalen Forderungen des Zahlenwerks gesellschaftliche Konsequenzen und Forderungen abzuleiten und Mut zu machen. Gesellschaft wird dabei jedoch naiv als „ein System der Kooperation“ definiert, „dessen Rechte und Pflichten sich lohnen müssen“ (Bund/Misereor (Hrsg.) 1996, 351).

Man greift auf Ideale kommunitaristischen Lebens zurück, die auch in den 70er Jahren schon mal en vogue waren. Eine Bestimmung von Gesellschaft bzw. Staat als hierarchisch strukturiert bzw. als Herrschaftsverband erfolgt nicht. „Zukunftsfähiges Deutschland“ setzt somit die von Conrad beschriebene Ausblendung von gesellschaftlichen Herrschaftsdimensionen und der Benennung von Akteuren und Verantwortlichen im Diskurs „Sustainable Development“ fort.

Das Politikverständnis der Studie ist weit von ehemaligen Konsensen sozialer Bewegungen entfernt: „Die wirtschaftlichen Institutionen sind auf der ganzen Welt die mächtigsten Kräfte. Deshalb können nur mit ihnen die notwendigen Veränderungen herbeigeführt werden“ (191).

Mit der Ausnahme einer knappen Analyse der EG-Agrarpolitik (329 ff.) findet sich in der Studie kein einziger Bezug auf die Macht wirtschaftlicher Interessenverbände, den Monopolisierungsgrad bestimmter Wirtschaftssektoren sowie deren unterschiedliches Maß an Weltmarktorientierung und -integration. Auf diese Weise werden „bestehende Verantwortlichkeiten der Wirtschaft und der Politik“ entgegen den Beteuerungen der Autorinnen und Autoren in der Tat systematisch unter den Teppich gekehrt, da gar nicht danach gefragt wird, wer wo unter welchen Bedingungen und mit welchen Zielen agiert.

Diese Strategie setzt sich in der Fixierung der Studie auf die Verantwortung der privaten Haushalte fort. Ohne nähere Begründung wird davon ausgegangen, dass der komplette Material- und Energieverbrauch „menschlichen Bedarfsfeldern“ zugerechnet werden könne: „Die Einzelheiten des Berechnungs- und Zuordnungsverfahrens können hier nicht aufgeführt werden. Wir zeigen deshalb lediglich das Ergebnis der Zurechnung auf die Bedarfsfelder Wohnen, Ernährung, Bekleidung, Gesundheit, Bildung, Freizeit, gesellschaftliches Zusammenleben und Sonstiges“ (45f.). Damit wird suggeriert, dass der Verbrauch von Staat und Wirtschaft letztlich nur deshalb erfolgt, damit alle ein Dach über dem Kopf, genug zu essen und Spaß in der Freizeit haben. Staat und Wirtschaft, so könnte man fortfahren, wollen stets nur unser Bestes, und dafür ist ihnen kein Energieeinsatz zu hoch.

Diese Ausblendung des Staats- und Wirtschaftsverbrauchs samt der Zurechnung des vernutzten natürlichen Reichtums auf „menschliche Bedarfsfelder“ und „private Haushalte“ suggeriert: Schuld an Material- und Energieverschwendung sind die Verbraucher und nicht die kapitalistische Produktionsweise. Politische Handlungsempfehlungen hätten sich folglich auf sie - die Verbraucher - zu konzentrieren; die Menschen sind somit Objekte und nicht Subjekte der Politik.

Bleibt zu resümieren: Zukunftsfähigkeit ohne Kritik an den vernichtenden Konsequenzen und der Gewalt der kapitalistischen Ökonomie und eines neuzeitlichen Naturverständnisses ist unmöglich. Wir sind doch nicht deshalb in der jetzigen Situation, weil wir alle uneinsichtige Endverbraucher in einer Weltwirtschaft sind, die leider die Natur vergessen hat. Ist es nicht vielmehr so, dass wir es seit gut 200 Jahren mit einer Weltökonomie zu tun haben, die auf der systematischen Ausgrenzung von Natur ihre Existenz begründet. Das ist kein Vergessen, sondern System. Wenn wir dies wiederum vergessen, hat das auch System.

Mythos Wissenschaft

In der Studie ist auch der Glaube an die Wissenschaft im Grunde ungebrochen. Das dokumentiert sich beispielsweise in der Forderung nach „einer verstärkten Bestellung von Sachverständigenräten bis zur Einrichtung eines Ökologischen Rates“ (379), der quasi als Treuhänder für die Natur und zukünftige Generationen wirkt. Hinter dieser Forderung nach „ökologischer Optimierung“ der Wirtschaft durch Wissenschaft steckt Steuerungsoptimismus und kritikloser Wissenschaftsglaube.

Kein Wort darüber, dass die ökologische Krise Naturwissenschaft und Technik in den letzten zwei Jahrzehnten zu einem Thema öffentlicher Diskussion und Kritik werden ließen. Der weltweite Rüstungswettlauf, durch die Erfolge von Wissenschaft und Technik ebenso erst ermöglicht wie der Arbeitsplätze vernichtende Einsatz neuer und neuester (Computer-)Technologie in Berufszweigen, die bislang von struktureller Arbeitslosigkeit verschont geblieben waren, die zunehmende Schädigung unserer Umwelt durch Schadstoffe aller Art und die damit einhergehende Gefährdung der Gesundheit aller haben den wissenschaftlich-technischen Fortschrittsglauben in weiten Kreisen der Bevölkerung immer fragwürdiger werden lassen. Spätestens seit dem Abwurf der Atombombe auf Hiroshima sind Naturwissenschaft und Technik zu einem Politikum geworden.

Geradezu auffällig vernachlässigt wurde es, die Rolle von Wissenschaft auf den Prüfstein von „Sustainable Development“ zu stellen. Wissenschaft ist als Form gesellschaftlicher Arbeit ein Element der sozialen und politischen Ordnung. Ihre Entwicklung ist keine Sache kognitiver Prozesse oder von Gesetzmäßigkeiten allein. Neben die Vergesellschaftung, die Ökonomisierung, die Politisierung von Wissenschaft tritt auch die Militarisierung - und dies in Zeiten des Nichtkriegs, womöglich in der Vorkriegszeit (Butte 1985).

Angesichts der globalen Probleme drängt sich die Frage auf, brauchen wir für deren Bewältigung einen „anderen Typ“ von Wissenschaft (und Technik)? Mit dieser Frage gerät man in ein weit verzweigtes

und unübersichtliches Gestrüpp von Analysen und Argumenten der Wissenschafts- und Technikgeschichte, der Technikfolgenabschätzung und -bewertung, der Modernisierungstheorien und nicht zuletzt der Philosophie und Mythenforschung.

Aus diesem weiten Feld sollen folgende Fragen herausgegriffen werden, denen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler u.E. heute stellen müssen:

- Welchen neuen Anforderungen muss sich Wissenschaft angesichts der globalen Probleme stellen?
Konkret: Wie spiegeln sich die Probleme in Wissenschaft und Forschung wider? Worauf müssen Wissenschaft und Forschung möglicherweise verzichten?
- Welchen Orientierungswandel braucht Wissenschaft?
Konkret: Wie können Wissenschafts- und Forschungsprioritäten und damit auch ihre Finanzierung neu definiert werden?
- Welche Veränderungen in der Struktur der Wissenschaft sind notwendig, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden?
Konkret: Welche Bedeutung hat zukünftig der Grundgesetzparagraph „Freiheit von Wissenschaft und Forschung“? Welche neuen gesellschaftlichen Dialogformen muss Wissenschaft insbesondere mit Bürgerbewegungen und Laien bestreiten?

Mit diesen Fragen im Hintergrund, die primär auf die gesellschaftliche Realität von Naturwissenschaft und Technik gerichtet sind, soll im Weiteren untersucht werden, welche Bedeutung die Studie und ihre Ergebnisse für Schule und Unterricht besitzen könnten - und wie sich diese Bedeutung entfalten kann. Eines kann der bisherigen Argumentation dabei schon jetzt entnommen werden: Macht man die Studie oder Teile davon zum Gegenstand des (naturwissenschaftlichen) Unterrichts, so kann es nicht nur um die Zahlen und Ziele eines zukunftsfähigen Deutschlands gehen oder um Modernisierung und innovative Technologie, vielmehr muss auch hier stets die Frage nach dem gesellschaftlichen Kontext, nach Herrschaftsstrukturen und Entwicklungen unter konkreten (historischen) Bedingungen thematisiert werden. Dies ist jedoch nur ein Aspekt der möglichen Rezeption der Studie für Unterricht und Schule. Denn darüber hinaus finden sich hier

bedeutsame Ansätze, die besonders unter didaktischen Gesichtspunkten fruchtbar werden könnten.³⁾

Zukunftsfähigkeit und Bildung

Bildung für sich genommen, trägt nichts zur Veränderung der Gesellschaft bei - diese ernüchternde Einsicht aus den Erfahrungen der 70er und 80er Jahre macht es wenigstens teilweise verständlich, dass die Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ mit keiner Silbe auf Bildungsfragen eingeht. Tatsächlich gab es in der jüngeren Vergangenheit nur einmal den Fall, dass aus einer eher ökologisch-naturwissenschaftlichen Analyse Forderungen für das Bildungswesen abgeleitet worden sind. Die betreffende Studie kann dabei durchaus als Vorläufer der Wuppertal-Analyse verstanden werden: es handelt sich um den Bericht der Enquete-Kommission des deutschen Bundestages „Schutz der Erdatmosphäre“ 1989. Nach Erscheinen des Berichts setzte das Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft auf Anregung aus dem Kreis der beteiligten Parlamentarier und Wissenschaftler eine weitere Kommission ein, die Konzepte zur „Umsetzung der Empfehlungen der Bundestags-Enquete-Kommission ... in das Bildungssystem“ entwickeln sollte. Das leider wenig bekannte und bekannt gemachte Ergebnispapier mit dem Titel „Schutz der Erdatmosphäre - eine Herausforderung an die Bildung“ (1990) kam zu äußerst weit reichenden Forderungen. Die Experten unter Vorsitz des Max-Planck-Bildungsforschers Hellmut Becker stellten zunächst fest, dass „heutige Allgemeinbildung ... im Großen und Ganzen nicht die zentralen Fragen zur Gefährdung und Zerstörung von Natur und Umwelt“ thematisiert, und auch, dass die favorisierten pädagogischen Konzepte - „selbst wenn sie eingelöst würden, noch keine wirkliche Überwindung der aufgezeigten Entgegensetzung von Mensch und Natur/Umwelt“ bedeuteten. Als Konsequenz forderten sie eine „überlebensgerechte Allgemeinbildung“, die durch folgende Kompetenzen der Lernenden umschreibbar ist. Die Fähigkeit (und Bereitschaft),

3) Zum folgenden Schulz, Stäudel 1997

- zukunftsgefährdende selbstbestimmte Verhaltensweisen zu durchbrechen,
- subjektive Betroffenheit rational in konkretes verantwortliches Handeln zu wenden,
- den Bezug zu anscheinend fern liegenden Ereignissen herzustellen,
- für die andere Qualität von Natur- und Umweltfragen in ärmeren Ländern aufnahmebereit zu sein und schließlich,
- bei einer gerechten Verteilung der Güter auf der Welt mitzuwirken (28).

Der Unterricht soll mehr Anschaulichkeit bieten und eine Mitgestaltung durch die Lernenden ermöglichen, um die „Einheit von Mensch und Natur/Umwelt in Lernprozessen zu realisieren“, die Entwicklung eines Potentials „zu richtigem Fragen und zu verantwortlichem Handeln“ und die Verknüpfung von unmittelbarem Erleben mit Formen der Objektivierung und Antizipation zu fördern. Letztlich ginge es um die „Überwindung allzu starrer fachlicher und disziplinärer Ordnung durch übergreifende, von der Lebenswirklichkeit - und d.h. hier vor allem Bedrohung des Überlebens von Mensch und Natur - ausgehende Ansätze und Methoden“.

Diese weit reichenden Forderungen gegenüber Schule und Bildung markieren zugleich die Schwachstelle des Klima-Kommissionsberichts: Zu sehr beziehen sich seine Forderungen auf eine Negativbilanz, trotz unbezweifelbar richtiger Analyse der globalen Probleme.

Von der Schadensbilanzierung zum Leitbild-Denken

Wie bereits dargestellt, beginnt auch die Studie des Wuppertal Instituts mit Bilanzierungen, bleibt aber hierbei nicht stehen, sondern entfaltet mit *8 Leitbildern* eine besondere, auf positive Entwicklung hin orientierte Qualität. Diese Leitbilder, die gleichzeitig in ihrer Summe beschreiben, was Zukunftsfähigkeit qualitativ bedeutet, heißen im Einzelnen:

- Rechtes Maß für Zeit und Raum
- Grüne Marktwirtschaft

- Von linearen zu zyklischen Produktionsprozessen
- Gut leben statt viel haben
- Für eine lernfähige Infrastruktur
- Regeneration von Land und Landwirtschaft
- Stadt als Lebensraum
- Internationale Gerechtigkeit und globale Nachbarschaft

Diese Leitbilder stehen in der Tradition eines politischen Diskurses, der in der Chemiepolitik seinen Ausgang genommen hat. Dort haben sich ähnliche Leitbilder in der Auseinandersetzung von Industrie, Politik und Umweltschutz relativ gut bewährt. Ihre besondere Funktion und Bedeutung liegt vermutlich darin, dass - bei durchaus weiter bestehenden Interessensunterschieden und -gegensätzen - ein Fokus für die Argumentation geschaffen wird, der eine sachbezogene Diskussion ermöglicht. Bekanntestes Beispiel hierfür dürfte das Leitbild „produktionsintegrierter Umweltschutz“ sein, das die chemische Industrie inzwischen für sich selbst als Leitlinie für künftige Entwicklung reklamiert. Konkret beinhaltet dieses Leitbild die Veränderung von Produktionsprozessen in der Weise, dass möglichst wenige schädliche Nebenprodukte und Abfälle entstehen, dass der Rohstoff- und Energieeinsatz minimiert werden usw. Es ist unmittelbar zu erkennen, dass hier die Interessen der Beteiligten *partiell* aufgehoben sind. Ebenso deutlich wird, dass die fundamentalen Interessenunterschiede und -gegensätze durchaus weiter bestehen: Produktionsintegrierter Umweltschutz bedeutet u.a. keinen unmittelbaren Verzicht auf die Chlorchemie, die in der umweltpolitischen Debatte einen wichtigen Angelpunkt darstellt; er bedeutet auch nicht die vorzeitige Schließung von Altanlagen oder den Verzicht auf ressourcenintensive Produktion von in Europa geachteten Chemikalien in anderen Erdteilen.

Mit diesen Einschränkungen im Bewusstsein zurück zum positiven Kern des Leitbildansatzes: Leitbilder sind keine bereits fertigen Beschreibungen einer Zukunft, vielmehr eröffnen sie einen im Detail ergebnisoffenen Prozess, der auch noch gestaltbar ist hinsichtlich der zu beschreitenden Wege. Unter diesen Prämissen gibt es auch für die schärfsten Kontrahenten die Möglichkeit, an einer gemeinsamen For-

mulierung von praktischen Entwicklungszielen mitzuwirken. - Ähnliches gilt auch für die Leitbilder der Wuppertal-Studie.

Leitbilder in didaktischer Sicht

Durchaus mit Bedacht wurden im letzten Abschnitt Formulierungen gewählt, die sich mit ähnlicher Bedeutung im pädagogischen Bereich wieder finden: Entwicklungs- und ergebnisoffen und dennoch mit einer für alle Beteiligten erkennbaren Gestalt, dies etwa wäre für viele eine akzeptable Beschreibung von fruchtbaren schulischen Lern- und Arbeitsprozessen. Hier wie dort können wünschenswerte Ziele nicht erzwungen werden, jedoch gelten Interesse und gemeinsames Aushandeln von Zielen sowie die Auseinandersetzung mit Bewertungen als Voraussetzung für konstruktive Arbeit. Solche Affinitäten sollen im weiteren Ausgangspunkt sein für Überlegungen, was die Studie des Wuppertal Instituts über die inhaltliche Seite hinaus in methodischer und organisatorischer Hinsicht für Schule und Unterricht bedeuten kann und wie sich die Leitbilder in diesen Kontext übersetzen lassen⁴⁾.

Die Leitbilder selbst können dabei nur in Umrissen dargestellt werden, für eine intensivere Befassung wird auf die Studie verwiesen oder zur überblickartigen Orientierung die Kurzfassung der Studie zur Lektüre empfohlen.

4) Unter vorzugsweise inhaltlichen Aspekten wurde inzwischen eine „Übersetzung“ der Studie „zukunftsfähiges Deutschland“ für den Unterricht vorgelegt. Das Handbuch „Die Zukunft denken - die Gegenwart gestalten“, herausgegeben vom Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Soest) stellt Arbeitsmaterialien zur Verfügung und macht Vorschläge zur Bearbeitung, die sich an den 8 Leitbildern orientieren. Zusätzlich wurden zwei weitere schulspezifische Leitbilder entwickelt und aufgenommen: „Zivilisierung von Konflikten“ sowie „Aspekte einer zukunftsfähigen Schule“.

Leitbild „Rechtes Maß für Zeit und Raum“

Dem „schneller, weiter, mehr“ stellt dieses Leitbild zunächst die Realität gegenüber: Staus auf Autobahnen und über den Einflugschneisen, Hektik und Stress. Eine zukunftsfähige Mobilität müsste unnötigen Verkehr vermeiden, hierzu gezielt auch die neuen Kommunikationstechnologien nutzen und die „mechanische Raum-Zeit-Verdichtung“ ablösen durch die Wiederaufnahme einer menschlichen Perspektive.

Inhaltlich hat dieses Leitbild Verkehrsentwicklung und -systeme zum Thema, wobei dieser Bereich besonders deutlich die Ohnmacht zeigt, die den Einzelnen angesichts der politisch (nicht) gestalteten Verhältnisse überkommen kann. Gewiss ist die Entwicklung individueller „rechter“ Maßstäbe für „humane“ räumliche Strukturen und die Vorteile der bewussten Langsamkeit eine Bedingung für den Wandel, jedoch längst nicht eine hinreichende. Arbeitsplätze in großer Entfernung vom Wohnort, Termindruck und just-in-time-Produktion sind Faktoren der Entwicklung, die vom Einzelnen kaum beeinflusst werden können - dennoch ein lohnendes Objekt schulischer Auseinandersetzung.

Methodisch und organisatorisch wäre hier weit mehr zu lernen: Das „schneller, weiter, mehr“ der schulischen Vermittlungsbemühungen hat sich längst selbst überholt. Statt Stofffülle ist exemplarische Vertiefung angesagt, das sich Einlassen auf Fragestellungen, die die eigene Person berühren, sozusagen „Aufmerksamkeit für den eigenen Ort“ - in der Lebenswelt wie im Lernprozess. Hierher gehört auch die Frage nach den 45-Minuten-Sequenzen und anderen Organisationsformen des Unterrichts. Auch könnte durchaus hinterfragt werden, ob der Nutzen von Fachräumen in jedem Fall höher einzuschätzen ist als der sprichwörtlich *eigene Raum* einer Lerngruppe. Angesichts von „Schulen ans Netz“ wäre zu prüfen, welche Vorteile die neuen Technologien im kommunikativen Sinne aufweisen, inwieweit hier die menschliche Perspektive Pate gestanden oder aber die Hightech-Begeisterung einen weiteren Sieg errungen hat, mit eher negativen Folgen für die Haltung gegenüber Zeit und Raum.

Leitbild „Grüne Marktagenda“

Gegenstand dieses Leitbilds ist die Frage von staatlicher Regelung und Steuerung versus freiem Spiel der (Markt-)Kräfte. Als Zielvorstellungen gehören dazu eine ökologische Orientierung von Subventionen und Steuern, die Haftung von Produzenten und anderen Akteuren für ihre Aktivitäten sowie die Einbeziehung von Ressourceneffizienz und Umweltschutz in die Wettbewerbspolitik.

Inhaltlich wären eben dies auch Ansätze für einen zukunftsorientierten Unterricht: Dem vermeintlich blinden Funktionieren von Angebot und Nachfrage kann gegenübergestellt werden, wie und welche Interessen Einfluss auf die Entwicklung von Märkten, Produkten und Bedürfnissen nehmen und welche Rolle die individuelle Entscheidung spielen kann. Beispiele wie die Geschichte von Greenfreeze, dem FCKW-freien Kühlschrankschampionier, lassen unerwartete Ursache-Wirkungs-Verknüpfungen erkennen und zeigen Wege aus der vermeintlichen Konsumentenohnmacht - aber auch die Zufälligkeit ihrer Wirksamkeit.

Auf der methodischen und organisatorischen Ebene könnte das Leitbild als Ermunterung zu vermehrter eigener Aktivität interpretiert werden: Im Rahmen von (staatlichen) Vorgaben den eigenen Lernprozess gestalten, nach begründeten Entscheidungen Schwerpunkte setzen, Profile entwickeln und unter dem gemeinsam gestalteten Dach eines verbindenden Bildungsziels Vielfalt entwickeln.

Leitbild „Von linearen zu zyklischen Produktionsprozessen“

Ausgangspunkt für die Formulierung dieses Leitbildes ist die Feststellung, dass „beinahe der ganze Planet ein einziges Bau-, Ressourcen-, Treibstoff- und Abfalllager“ ist. Die Endlichkeit der Vorräte wie auch die schmerzliche Einsicht, dass „Alles irgendwo bleibt“, erfordern eine Um- und Neugestaltung der bisherigen Wirtschaftsweise. Zum Vorbild hierfür werden die Stoffumsätze und Kreisläufe in der Natur sowie die Beziehungen innerhalb und zwischen den Arten erklärt: Na-

tur kennt keine „Abfälle“, sie setzt die von der Sonne kommende Energie für Gestaltung und Wachstum ein, Individuen und ihre unabhängigen Aktivitäten sind kooperativ miteinander verknüpft, und Vielfalt ist eine Voraussetzung für die Balance des Ganzen. Trotz einer hier aufscheinenden Romantisierung der Naturzusammenhänge (dass Räuber ihre Beute nicht völlig ausrotten und sich dadurch ihre eigene Lebensgrundlage entziehen, ist kein Akt der Vernunft, sondern ein elementarer Wirkmechanismus) hat dieses Leitbild für Gesellschaft wie für Bildung weit reichende Bedeutung.

Hinsichtlich der inhaltlichen Umsetzung für den Unterricht reichen die Beispiele zurück bis zu F. Vester, der - didaktisch zugespitzt - den Blick von der einzelnen Erscheinung hingelenkt hat auf systemische Zusammenhänge und Bedingungen. Dem entsprechen heute Verfahren wie Produktlinienanalyse und Ökobilanzen, die Alltagsprodukte wie T-Shirt, Walkman oder Kiwi-Früchte in Beziehung setzen zu den verwendeten Rohstoffen, deren Anbau- oder Abbaubedingungen, den Transportkosten, der Frage des Verbleibs nach der Nutzung und auch mit dem Nutzen oder Schaden, den der Gebrauch selbst mit sich bringt. Ähnliches zu thematisieren bedeutet die Sensibilität zu fördern für das eigene Handeln wie auch für vorhandene Alternativen. Besonders für den naturwissenschaftlichen Unterricht finden sich hier elementare Denkanstöße: Im einfachsten Fall ginge es darum, das Wissen von der Massenerhaltung bei chemischen Reaktionen nicht nur auf das Geschehen im Reagenzglas anzuwenden, sondern auf die gesamte Biosphäre und den gesamten „Stoffwechsel“ von Menschen und Natur.

Methodisch und organisatorisch gibt es inzwischen zahlreiche Ansätze, das „Alles bleibt irgendwo“ und die Ressourcenfrage auf Schulebene zu konkretisieren. Aus ersten Anfängen des Aluminiumsammelns haben sich Müll-Vermeidungs-Konzepte für Schulen entwickelt, Schülerinnen und Schüler proben das Strom-, Wasser- und Heizwärmesparen, und mancherorts wurden die Dächer zur Fotovoltaikanlage umgebaut. Hierbei gewinnt die bereits früher vorgeschlagene kritische

Auseinandersetzung mit der Schule als Um- und Lebenswelt⁵⁾ eine neue Qualität.

Leitbild „Gut leben statt viel haben“

In ihrer Analyse stellt die Wuppertal-Studie zwei Konsumenten-Typen gegenüber: den distanzierteren, der selektiv kauft und bei seiner an Qualitätskriterien orientierten Entscheidung auch das Gemeinwesen im Auge hat, und den „erlebnissüchtigen“, der Waren und Dienste nach ihrem Genuss- und Inszenierungswert verbraucht“. Gut leben unter dem Aspekt von Zukunftsfähigkeit kann hier heißen: regionale Orientierung des Konsums, Entwicklung von sanftem Tourismus, Langlebigkeit, Sparsamkeit und gemeinsame Nutzungsmöglichkeiten von Produkten als Bewertungskriterien. Es sei noch einmal angemerkt, dass bei diesem Leitbild das Fehlen einer kritischen gesellschaftsanalytischen Sicht besonders deutlich erkennbar wird.

Inhaltlich berührt dieses Leitbild unmittelbar die Lebensrealität und die Lebensentwürfe der Schülerinnen und Schüler. Aufgewachsen mit den Verführungen der Werbung, als Käufer selbst Mitproduzenten von Trends und Moden, ausgesetzt einem sozialen Umfeld, das Produkte und Marken als Statussymbole bevorzugt, können sie kaum mehr wahrnehmen, was Bedürfnisse eigentlich sein könnten. Neben der kritischen Analyse der Motive des eigenen Handelns könnte hier das gestaltende Tun eine wichtige Rolle spielen; je höher der persönliche Einsatz bei der „Produktion“ eines Gegenstandes ist, desto eher wird er aus der Warenwelt herausgelöst und gewinnt an Bedeutung.

Im Schulleben und seinen vielfältigen Äußerungen könnten entsprechende Veränderungen dadurch voran gebracht werden, dass sich Schule stärker als soziale Veranstaltung und Einrichtung versteht. Sowohl die Entwicklung gemeinsamer Aktivitäten wie auch die Öffnung gegenüber der Gemeinde, dem Viertel können zur Herausbildung von eigenen „Kulturen“ beitragen, die ein Gegengewicht zur Warenkultur

5) Vgl. Werber, Stäudel 1990; Stäudel 1989

darstellen. Organisatorisch bedeutet dies, mit der Planung nicht bei der Koordination von Unterrichtsstunden stehen zu bleiben, sondern die Schule als Ort gemeinsamen Lebens zu gestalten.

Leitbild „Für eine lernfähige Infrastruktur“

Dieses Leitbild setzt sich von seiner zentralen Idee her ab von einer Wirtschafts- und Produktionsweise, die „sich in erster Linie am Durchsatz von Masse orientiert“. „Intelligent“ bedeutet, bezogen auf die Elemente der materiellen Infrastruktur, hohe Effizienz und Anpassungsfähigkeit bei gleichzeitig geringem Umweltverbrauch. Als Beispiel wird bevorzugt der Energiesektor angeführt. Absatzdenken wurde hier bereits in Teilen abgelöst von einem Verständnis der Energieversorgung als Dienstleistung. Die Frage lautet dann nicht mehr, wie kann möglichst viel Strom, Wärme oder Brennstoff verkauft, sondern wie kann die geforderte Dienstleistung mit möglichst geringem Aufwand an Primärenergie (und Kosten) erbracht werden. Dies macht es verständlich, dass Energieversorger inzwischen für verbrauchsgünstige Haushaltsgeräte werben oder Wärmedämmmaßnahmen unterstützen. In anderen Bereichen, etwa beim Verkehr, hat sich eine vergleichbare Einsicht noch nicht durchgesetzt bzw. kollidiert mit ökonomischen und politischen Interessen.

Welchen Infrastruktur-Luxus wir uns in den Industriestaaten tatsächlich leisten, kann mit Schülerinnen und Schülern an praktisch jedem inhaltlichen Beispiel erarbeitet werden. Besonders eindrucksvoll zeigt dies etwa der Landschaftsverbrauch für Straßen, Parkplätze und Flughäfen, ebenso der Vergleich des hier betriebenen Aufwands mit der Situation in Ländern des Südens. Lösungsansätze sind dabei ebenso auf der Ebene individuellen Handelns auszumachen wie im kommunalen politischen Bereich. Ein Leitbild wie das hier zur Rede stehende, befördert ganz ausdrücklich die Bezugnahme des Lernens und Arbeitens im Unterricht auf die konkrete Lebensumwelt, den kommunalen Raum und seine technischen, ökonomischen und sozialen Bedingungen wie auch Entwicklungsmöglichkeiten.

Auf der schulorganisatorischen Ebene könnte „lernfähige Infrastruktur“ zuerst verbesserte Nutzung und Vermeidung von Kosten bedeuten. Zwar sind Konzepte wie „Videoanschluss in jedem Klassenzimmer“ und hochgradige mediale Versorgung bereits vor Jahren der Leere in den öffentlichen Kassen zum Opfer gefallen, vergleichbare Ansprüche auf allzeitige Verfügbarkeit tauchen jedoch nicht nur bei den neuen Medien wieder auf. Darüberhinaus könnte der Gedanke von mehr Effizienz auch die Organisationsentwicklung von Schule befruchten, die u.a. zum Ziel hat, die vorhandenen Ressourcen jeder Art produktiv in die pädagogische Arbeit einzuspeisen.

Leitbild „Regeneration von Land und Landwirtschaft“

Ohne das Land ist auch die Stadt nicht lebensfähig; diese Einsicht wird heute kaum honoriert: Nie zuvor wurde weniger für Nahrungsmittel ausgegeben, nie fanden Land und Landwirtschaft weniger Beachtung als heute. Deren reale Bedeutung wird dem Städter kaum beim Einkauf im Supermarkt erkennbar, vielmehr ist sein Bild vom Land geprägt durch Meldungen über Trinkwasserbelastungen durch Düngemittel und Biozide, über BSE, Schweinepest und tiermordende Transportpraktiken. Wie aber gelangt man von heutigen Monokulturen zurück zur Vielfalt ländlicher Räume? Der ökologische Landbau hat mit mehr als 6.000 Betrieben bereits den Anfang gemacht. Solche neuen/alten Strukturen ermöglichen dann auch den Aufbau umweltangepasster Strukturen für Tourismus und Erholung; und naturnahe Wälder sind nicht nur ökonomisch langfristig ein Gewinn, sie haben auch höheren Erlebniswert als die Mehrzahl der heutigen „Holzäcker“.

Inhaltlich steht dieses Leitbild für ein verändertes Verhältnis schulischer Stoffe und Fragestellungen zur Natur. Besonders für den naturwissenschaftlichen Lernbereich heißt das, Buch und Medium zu ergänzen - wenn nicht oft zu ersetzen - durch die reale Begegnung mit den Naturdingen, sich „auszusetzen“ und nicht im Labor alles Komplexe als Störvariable auszuschalten. Natur in diesem Sinn schließt auch die eigene Person mit ein, die Körperlichkeit, das Befinden, das so zum Thema gemacht werden kann.

Methodisch und organisatorisch stellt sich die Frage nach der Künstlichkeit bzw. der Natürlichkeit der Bedingungen für die Lernprozesse. Erleben lässt sich nicht im Dreiviertelstundentakt verordnen, Erkundungen draußen nicht auf den Tauschwert von Noten reduzieren.

Leitbild „Stadt als Lebensraum“

„Die Stadt der Zukunft ist ein Stadt der kurzen Wege“, auf dem Weg dorthin müsste eine schrittweise (Wieder-) Zusammenführung der Funktionen Wohnen, Arbeiten, Versorgung und Freizeit erfolgen. Dann könnten wieder soziale Zusammenhänge gestiftet und verschiedensten Bedürfnisse bedient werden. Diese Stadt der Zukunft hätte mit dem dichten Verkehr auch ihre Luft- und Schadstoffprobleme hinter sich gelassen und wäre zugleich Zentrum für das Umland.

Die Stadt der Zukunft planen ist, wie die Frage nach der Qualität der Dinge, mit denen sich Menschen umgeben, und der Gestaltung der Infrastruktur ein wichtiger Zugang zu den Lebensentwürfen der Jugendlichen. Die inhaltliche Auseinandersetzung damit ermöglicht zugleich eine kritische Sicht des Ist-Standes wie auch die Herausbildung von Orientierungen für das eigene Handeln.

„Stadt als Lebensraum“ könnte übersetzt bedeuten „Schule als Lebensraum“. Wie die Jugendforschung zeigt, hat Schule ohnehin seit langem für die Schülerinnen und Schüler die Funktion von Treffpunkt und sozialem Austausch. Eine Umgestaltung, die diese Interessen aufgreift, kann nicht warten, bis neue architektonische Konzepte hierfür umgesetzt werden. Oft können Klima und Nutzungsmöglichkeiten bereits durch marginal erscheinende organisatorische Maßnahmen verbessert werden, eine Aufgabe für alle, die hier einen Teil ihres Lebens verbringen.

Leitbild „Internationale Gerechtigkeit und globale Nachbarschaft“

Zukunftsfähigkeit für ein einzelnes Land gibt es nicht, dies macht die Studie des Wuppertal Instituts unmissverständlich deutlich⁶⁾. Ungerechtigkeit ist Ausgangspunkt für Konflikte und kriegerische Auseinandersetzungen. Ungleichheit gibt es nicht nur im Warenverkehr Rohstoffe gegen Industrieprodukte, wesentlich krasser zeigt sie sich im Umweltverbrauch: Das Fünftel der Menschheit, das in den Industrieländern lebt, verursacht etwa 4 Fünftel der Klimaschäden. Weder können die Gesellschaften des Nordens mit diesem Raubbau fortfahren, noch kann eine entsprechende „Entwicklung“ vernünftiges Ziel für die Länder des Südens sein. Die ökologische Erneuerung muss beginnen, nur dann kann Technologietransfer zu einem glaubhaften Element in den Industrienationen und von Entwicklungspolitik werden.

Für die inhaltliche Bearbeitung der Nord-Süd-Beziehungen liefern Leitbild und Studie insgesamt umfangreiche Informationen, daneben ein anschauliches didaktisches Werkzeug: den ökologischen Rucksack. Mit diesem Maß für Landverbrauch und Bodenerosion können Produkte und Dienstleistungen bei uns unmittelbar in Beziehung gesetzt werden zu den Regionen der Welt, aus denen Rohstoffe oder dafür benötigte Energie stammen. Ähnlich wie Produktlinienanalyse und Ökobilanz sind zwar nicht alle Parameter für eine Quantifizierung bekannt, das grobe Ergebnis reicht aber aus, um die Frage der Gerechtigkeit aus dem Dunst des Nur-Moralischen herauszuführen und einer rationalen Beurteilung zugänglich zu machen.

Methodisch und organisatorisch wurden bereits früher zahlreiche Vorschläge für einen zukunftsorientierten „Umgang mit den anderen“ ge-

6) Das Verhältnis des industrialisierten Nordens zu den armen Ländern des Südens erscheint vielen Vertretern von Nichtregierungsorganisationen in der Studie als unterrepräsentiert. Kritisiert wird insbesondere, daß die Aussagen zu Entwicklungsaspekten durchsetzt sind mit westlichen Ideen und Gewißheiten. Dazu zählen Begriffe wie Fortschritt und Wachstum, Marktintegration und Konsum. Umgekehrt zeigt sich im internationalen politischen Diskurs, daß der Süden keineswegs die Absicht hat, die Lebensweise des Nordens als Zukunftsmodell aufzugeben.

macht: Austausch von Informationen und Personen, gemeinsame Arbeit - so weit möglich - an konkreten Projekten u.v.a.m.⁷⁾

Fächerübergreifend = zukunftsfähig?

Wie die Auseinandersetzung mit der Studie und den Leitbildern zeigt, können die hier aufgeworfenen Fragen und Entwicklungsaufgaben in den seltensten Fällen einem einzelnen Fach zugeordnet werden, auch nicht einem Lernbereich Naturwissenschaften. Sie besitzen in der Regel sowohl Bezüge zu Natur- und Technikwissenschaften als auch zu Sozialwissenschaften und Politik. So verlockend es auf den ersten Blick erscheint, die Thematisierung von Zukunftsfähigkeit für einen Lernbereich Naturwissenschaften zu reklamieren⁸⁾, so wenig kann dies dort geleistet werden, wenn nicht gleichzeitig das Verständnis der gesellschaftlichen Dimensionen von Naturwissenschaften, Technik und Ökologie mit einbezogen und bearbeitet wird.

Eine bloße „Integration“ von Anteilen unterschiedlicher (naturwissenschaftlicher) Fächer bliebe auf der Stufe einer technischen Maßnahme stehen, vergleichbar einer mehr oder weniger eleganten Lösung von Umweltproblemen durch end-of-pipe-Maßnahmen. Eine Neugestaltung bedarf weiter gehender Schritte: der Auseinandersetzung mit den dargestellten Themen in ihrer vollen Breite, einem „Lernen im Kontext“, das die Funktionalisierung von Problemen für den Unterricht ausschließt.



Literatur

- ◆ BUND, Misereor (Hrsg.): Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Basel 1996.

7) Vgl. Lissmann 1996; Kremer 1996; Stäudel 1996 sowie die Zusammenstellung relevanter Unterrichtsmaterialien zu Entwicklungsfragen in Pädagogisches Werkstattgespräch entwicklungspolitischer Organisation (Hrsg.) 1995/96

8) Vgl. Hessischer Rahmenplan Naturwissenschaften Sekundarstufe I sowie den nordrhein-westfälischen Lehrplan für den Lernbereich Naturwissenschaften Gesamtschule Sekundarstufe I (Entwurfassung Oktober 1997)

- ◆ Butte, W. (Hrsg.): Militarisierte Wissenschaft. Reinbek 1985.
- ◆ Conrad, J.: Sustainable Development. Bedeutung und Instrumentalisierung, Voraussetzungen und Umsetzbarkeit. In: Massarat/M. u.a. (Hrsg.): Die Dritte Welt und Wir. Bilanz und Perspektiven für Wissenschaft und Praxis. Freiburg 1993, S. 112 - 138.
- ◆ Hauff, V. (Hrsg.): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht. Greven 1987.
- ◆ Hermand, J.: Grüne Utopien in Deutschland. Zur Geschichte des ökologischen Bewusstseins. Frankfurt/M. 1991.
- ◆ Kremer, A.: Energieverbrauch im Nord-Süd-Vergleich: Verschwendung und Mangel. In: Wochenschau „Thementag Nord-Süd“ (Sonderausgabe Sek.I u.II). 47. Jhg. Dezember 1996, S. 72 - 76.
- ◆ Lissmann, H.-J.: Mit der Natur wieder in Einklang kommen. Eine Perspektive für politisches Handeln im Nord-Süd-Konflikt. In: Wochenschau „Thementag Nord-Süd“ (Sonderausgabe Sek.I u.II). 47. Jhg. Dezember 1996, S. 18 - 23.
- ◆ Pädagogisches Werkstattgespräch entwicklungspolitischer Organisation (Hrsg.): Eine Welt im Unterricht. Materialien, Medien, Adressen (Sek. I u. II). Ausgabe 1995/96 (o.O.)
- ◆ Schultz, I.: Die Liebe der Männer zu nachhaltigen Zahlen. In: Wechselwirkung April 1996, S. 59 -63.
- ◆ Stäudel, L.: Stoffverbrauch, Zukunftsfähigkeit und global nachhaltige Entwicklung. In: Wochenschau „Thementag Nord-Süd“ (Sonderausgabe Sek.I u.II). 47. Jhg. Dezember 1996, S. 77 - 80.
- ◆ Stäudel, L.: Schule als Um- und Lebenswelt. In: Kremer, A., Stäudel, L. (Hrsg.): Ökologie und naturwissenschaftlicher Unterricht. Kritisches Forum Naturwissenschaft und Schule Bd. 3, Marburg 1989, S. 44 - 47
- ◆ Werber, B., Stäudel, L.: Ökologische Schulerkundung. Soznet Materialien für den Unterricht Bd. 27, Marburg 1990

Bernd Jaenicke

Die Greenpeace-Solarkampagne am Beispiel des Solar-Schulprojektes

- Erfahrungen und Projektbeschreibungen -

Ein ständig wachsender Energieverbrauch und die Nutzung fossiler und nuklearer Energieträger ist mit einer Reihe von Nachteilen verbunden; sie werden von einer bezüglich möglicher Umwelt- und Klimagefahren sowie anderer negativer Folgen zunehmend sensibilisierter Industriegesellschaft am Ende des 20. Jahrhunderts immer weniger toleriert. Der Saure Regen und das Ozonloch zählen ebenso zu diesen Gefahren wie der Treibhauseffekt, der durch das Kohlendioxid CO₂ verursacht wird. Deshalb gewinnt die Suche nach umwelt- und klimaverträglichen Formen der Energiebereitstellung zunehmend an Bedeutung.

Wie eine notwendige Wende der Energiepolitik im Hinblick auf Energieträger, volkswirtschaftliche Kosten und Arbeitsplatzentwicklung aussehen kann, hat Greenpeace bereits in mehreren Studien detailliert beschrieben. Schwerpunkte sind der stufenweise Ausstieg aus der Atomenergie bis zum Jahre 2000 und die Reduzierung des Kohlekraftwerkparcs. Im Gegenzug werden - in einem Szenario bis zum Jahre 2010 - die schrittweise Einführung regenerativer Energieträger sowie Potentiale der Effizienzsteigerung und Energieeinsparung aufgezeigt. Die Studien verdeutlichen: Eine ökologische Neuorientierung der Energieversorgung ist machbar! Erneuerbare Energiequellen wie Wind, Wasser und vor allem Sonne sowie ein effizienter Energieeinsatz vermeiden radioaktiven Abfall und reduzieren die Kohlendioxid-Emissionen. Die hierfür erforderlichen Technologien sind größtenteils bereits heute vorhanden. Eine der viel versprechendsten Technologien ist die Photovoltaik - die direkte Umwandlung des Sonnenlichtes in elektrischen Strom. Photovoltaik braucht keinen Brennstoff, erzeugt keine Abwärme und keine Abgase.



Greenteams

Bei den Aktivitäten und Aktionen von Greenpeace waren in den Anfangsjahren ausschließlich Erwachsene tätig. Das änderte sich vor ca. 8 Jahren. Die Aktivitäten der Erwachsenen bei Greenpeace stieß bei Kindern und Jugendlichen auf derartiges Interesse, dass hieraus vor 6 Jahren ein Kinder- und Jugendprojekt entstand. In dem Projekt, das den Vorstellungen des Amerikaners John Dewey, der als Urheber des Projektgedankens gilt, sehr nahe kommt, werden Kinder und Jugendliche im Alter von von 8 - 18 Jahren aktiv und bilden so genannte „Greenteams“. Seither schließen sich immer mehr kleine lokale Gruppen von Kindern und Jugendlichen zu solchen Teams zusammen.

Von den Erwachsenen bekommen die Nachwuchsökologen ein Handbuch mit Tips zur Projektarbeit und eine Ansprechpartnerin oder einen Ansprechpartner gestellt. Alles andere bleibt in der Verantwortung der Teams. Bis heute gibt es ca. 2000 Greenteams in der Bundesrepublik.

Nicht nur die große Zahl der Teams verlangt das Kinder-Engagement ernstzunehmen, sondern auch zwei Studien verdeutlichen das. Eine Studie des Dortmunder Bildungsforschers H.-G. Rolff ergab zum Beispiel, dass für Jugendliche die Umweltfragen in der Schule an erster Stelle stehen und Emnid fand im vergangenen Jahr heraus, dass Greenpeace mit Abstand bei den Kindern und Jugendlichen in der Glaubwürdigkeitsskala an erster Stelle steht. Ferner ermittelte Emnid, dass für 92 % der Kinder und Jugendlichen die Solarenergie der zukünftige Energielieferant Nummer eins ist, um nachhaltig und sorgsam im Einklang mit der Umwelt zu leben.

Das allgemeine „Greenpeace-Solarprojekt“ wurde 1993 gestartet. Seitdem wurde in Hamburg, dem Hauptsitz der Umweltschutzorganisation und in den ortsansässigen Greenpeace-Gruppen mit unterschiedlichen Schwerpunkten kontinuierlich an der „Solarenergie“ gearbeitet. Nach dem Cyrusprojekt 1995/96, bei dem es um den Bau einer kompletten 2 kW-Photovoltaik-Solaranlage und die rationelle Solar-

anlagen-Fertigung ging, wurde im März 1996 das Solar-Schulprojekt „Lasst die Sonne rein!“ gestartet. Mit dem Solar-Schulprojekt wurden die Greenteams, Eltern sowie Lehrerinnen und Lehrer aktiv.

Das Solar-Schulprojekt wird in zwei große Schritte unterteilt, in „Nicht-investive Maßnahmen“ (dieser Schritt ist für pädagogische Maßnahmen in der Primarstufe gedacht) und „Energieversorgung mit Solarenergie sichern“ (dieser Schritt zielt auf die Sekundarstufe I und II sowie auf die Berufsschulen).



Laßt die Sonne rein!

1. Nichtinvestive Maßnahmen

1.1 Energieerfahrung

Dieser Schritt ist in erster Linie unter dem pädagogischen Aspekt zu sehen. Die moralisierende Umwelterziehung soll durch eine handlungs- und erfolgsorientierte Auseinandersetzung mit dem Thema "Neue Energien" ersetzt werden.

1.2 Umweltspiele

- Energie-Erlebnis-System
- Energie und Leistung - Ein Legespiel
- Rund um die Schule
- Umwelt-Spielkartei (Ökotopia-Verlag)
- Tat-Ort-Schule: Energie - Ein Informationsheft zum Thema mit Spiel- und Unterrichtsideen

1.3 Der Verbrauch durch veränderte Energienutzung

Bei dem Thema "Das veränderte Nutzerverhalten" stehen das für den Treibhauseffekt verantwortliche CO_2 , der Energieverbrauch und die Energiekosten im Vordergrund:

- Ökologische Bilanzierung zu Energiesystemen
- Projekt der Sonnenenergienutzung
- Experimentierkoffer mit Messinstrumenten
- Energieeinsparung in Schulen durch Änderung des Nutzerverhaltens (Evaluationsbericht Universität Lüneburg)
- Unterrichtseinheit "Die Energiesparwoche"

2. Energieversorgung mit Solarenergie sichern

2.1 Energieversorgung durch Einsparungen sichern

- Energie-Rundgang Schule
- Energiesparen als Beitrag zum Klimaschutz
- Energiemanagement
- Lüftung, Gesundheit, Energieverluste
- Rationelle Energieverwendung am Beispiel der Meerburscher Schulen.

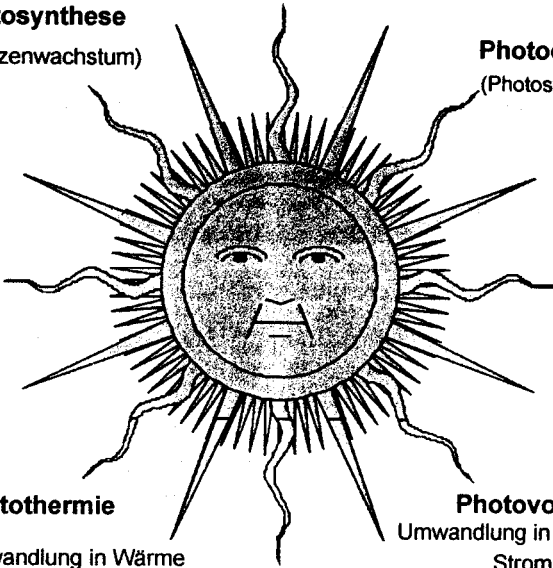
2.2 Energieversorgung über Solarenergie sichern

- Unterrichtseinheit „Bau einer Kollektoranlage“
- Überlegungen zum Energiesparen in Schulen
- Vereinbarung (Vordruck) für den Erwerb einer Solaranlage
- Das Bonussystem an Schulen
- Merkblatt für antragsberechtigte Schulen.

Im Greenpeace-Schulprojekt "Lasst die Sonne rein!", lernen Kinder und Jugendliche den Zusammenhang von Klimaschutz und Energieverbrauch kennen. Die Teams aus Schülerinnen und Schülern, Lehrerinnen und Lehrern, dem Hausmeister und der Schulleitung entwickeln mit Phantasie eigene Beiträge zum Klimaschutz, so zum Beispiel durch Energieeinsparung. Die passiven Sonnenstrahlen können durch architektonische Maßnahmen oder durch die Photothermie genutzt werden. Das aktive Sonnenlicht ist unter anderem für die Photovoltaik sehr nützlich. Mit anderen Worten: Mit der passiven und aktiven Nutzung der Sonne muss „Energiesparen Schule machen“ und bei der Energieverschwendung kann der „Tat-Ort die Schule“ sein.

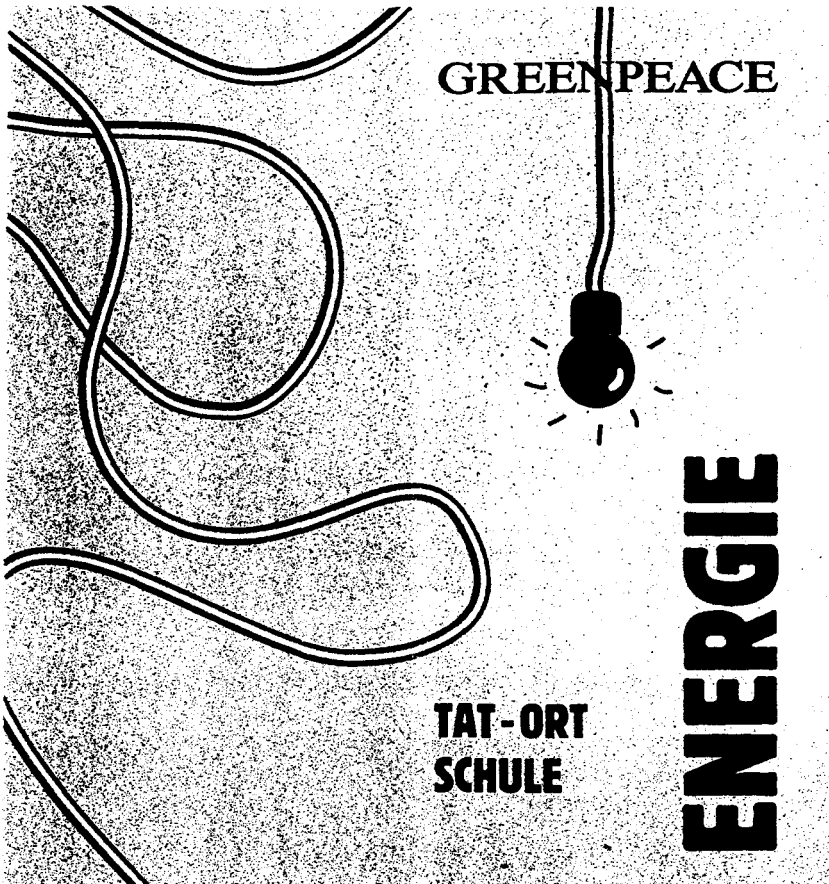
Photosynthese
(Pflanzenwachstum)

Photochemie
(Photosynthese)



Photothermie
Umwandlung in Wärme

Photovoltaik
Umwandlung in elektrischen
Strom



An zwei Beispielen aus Bremen sollen die Aktivitäten im „Tat-Ort Schule“ verdeutlicht werden.

Die Bremer Greepeace Gruppe arbeitet mit der Gesamtschule Mitte und der Grundschule Baumschulenweg zusammen.

Qualmende Kraftwerke und Solarzellen

Umwelt-Theater an der Gesamtschule Mitte / Greenpeace mit Photovoltaik-Anlage dabei

Von unserem Redaktionsmitglied
Volker Junck

„Ich bin ein stinkendes Kraftwerk, ich bin ganz schlecht“, kichert Eike, der in einem Pappkarton mit qualmendem Schornstein steckt. Sein Mit-Stänkerer Guido ist ebenfalls auf der Verliererseite. Da sind Johannes, David, Meike, Jonas, Aljoscha oder Julie schon besser dran mit ihren Rollen als Kollektor, Windrad, Abgesandte der Sonne oder Solarzelle. – Umwelt-Theater „Laß die Sonne rein“ mit Greenpeace gestern vormittag in der Gesamtschule Mitte.

Auch wenn die Sonne sich gerade versteckt hatte und Sprühregen den Schulhof an der Hemelinger Straße einhüllte: Die Spielfreude tat das keinen Abbruch. Die Schüler und Schülerinnen zogen enga-

giert ihr Umwelt-Stück über die notleidende Erde ab, das sie wochenlang in verschiedenen Unterrichtsprojekten vorbereitet hatten. Greenpeace lieferte dazu fachliche Unterstützung und Material zum Thema drohender Treibhauseffekt.

Die Umweltschützer in ihren weißen Anzügen hatten eine fahrbare Photovoltaik-Anlage vom Typ „Cyrus“ mitgebracht. Bernd Jaenicke, Energie- und Schulprojektkoordinator von Greenpeace Bremen: „Mit einer solchen Anlage auf dem Dach von nur 18 Quadratmetern Fläche lassen sich jährlich 550 Mark an Stromkosten oder 1,8 Tonnen an Kohlendioxid-Emissionen einsparen.“ Er erinnerte Bremen an seine Verpflichtung, bis zum Jahre 2005 den Ausstoß des Treibhausgases um 30 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 zu reduzieren.

Mit seiner Fibel „Tat-Ort Schule“ gibt Greenpeace aber auch praktische Tipps zum Energiesparen im Schulalltag. In der umfangreichen Checkliste wird nach Zeitschulturn für stromfressende Kopierer und Computer, dem Verbrauch von Großgeräten oder Wasserspartasten in Toiletten gefragt.

Und: Ist der Hausmeister ein Sonnenscheinchen oder ein Miesemöppel? Auf jeden Fall sei das der wichtigste Mann beim Energiesparen in der Schule und somit gut zu behandeln.

Die Anleitung, wie man eine „bockige Schulleitung energiearm weickocht“, ist für die Gesamtschule Mitte wohl kein Thema: An der „Umwelt-Pilotschule“ im Ortsteil Peterswerder wird ökologische Bewußtseinsbildung schon seit Jahren groß geschrieben.

Weser Kurier vom 05.09.96

In der Gesamtschule Mitte studierten die Schülerinnen und Schüler anfangs ein Theaterstück ein zur Darstellung der schädlichen globalen Klimaerwärmung und präsentierten es den Mitschülerinnen und Mitschülern sowie der anwesenden Presse. In der folgenden Zeit entwarfen sie mit Lehrerinnen und Lehrern sowie Greenpeace eine halbjährige Unterrichtseinheit zur Frage „Was ich schon immer über die Solarenergie wissen wollte?“ Das Konzept der Unterrichtseinheit sieht einen interdisziplinären Unterricht in den Fächern Deutsch, Englisch, Physik und Werken vor. Im Unterricht und in ihrer Freizeit planten die Schülerinnen und Schüler ihr eigenes Solarobjekt und untersuchten unterschiedliche Solarzellentypen. Anhand von Messungen vor und in der Schule ermittelten sie, welcher Solarzellentyp für ihre Anwendung am günstigsten ist. Mit dem Einsatz einer kleinen Photovoltaik-Solaranlage wurde die Umwandlung von Sonnenlicht in Strom für die Jugendlichen somit greifbar nahe aufgearbeitet.

Berechne Deine persönliche CO₂ -Bilanz

		A X B = CO ₂		
genutzter Energieträger	Energieinhalt in kWh	kg CO ₂ pro Einheit	Energieverbrauch	kg CO ₂ insgesamt
Heizöl	9,75	2,8	l	
Erdgas	9,5	1,8	m ³	
Steinkohle	8,14	2,7	kg	
Braunkohle-briketts	5,37	2,15	kg	
Strom	1,0	1,0	kWh	
Pkw Benzin	9,9	2,8	l	
Pkw Benzin - km		0,25	km	
Bus/Bahn Personen - km		0,06	km	
Flugzeug Personen - km		0,25	km	
		Summe		<input type="text"/>

Quelle: Dubbel¹ / Stadtwerke Bremen²

Ferner entwickelten die Schülerinnen und Schüler eine Checkliste für „stromfressende“ Kopierer, Computer und den Energieverbrauch von Großgeräten. Die Möglichkeiten von Energieeinsparung und Energiegewinnung durch Solarstrom wurden in ihrer Umwelt analysiert. Weiterhin ermittelten sie mit einer vorgefertigten Tabelle die CO₂ -Bilanz der Geräte. In Zukunft sollen die Vor- und Nachteile der einzelnen Energieerzeugungssysteme im Unterricht behandelt werden.

In der Schule am Baumschulenweg, einer Grundschule in Bremen, wird das unter 1. aufgeführte pädagogische Konzept verfolgt. Das Thema „Solarenergie“ wird eher spielerisch als kognitiv erfahren. Für die Greenpeace-Gruppe ist es an dieser Schule relativ einfach, mit dem Umwelt-Solarkonzept auf gegenseitigen Austausch von Erfahrungen zu stoßen. Denn die Primarstufe ist eine Umwelt-Schule, die durch das Engagement der Lehrerinnen und Lehrer sowie Schülerinnen und Schüler über die Grenzen von Bremen bekannt ist und im vergangenen Jahr den WWF-Panda-Umweltpreis für ihr ökologisches Engagement erhielt.

Für Strom läßt Greenpeace die Sonne schuffen

Aktivisten regen auch zum Basteln an / Schulprojekte: Solar-Karussells und Energie-Puppenhäuser

Von unserem Mitarbeiter
Bernd Schneider

Sonnenlicht fasziniert in jüngster Zeit verstärkt Bremer Schülerinnen und Schüler. Das ist kein Zufall. Unter Anleitung von Greenpeace-Mitarbeitern entstehen an Bremer Schulen Solar-Karussells, Sonnen-Boote, Energiespar-Puppenhäuser und lichtbetrieбene Batterie-Ladegeräte.

Seit gut einem halben Jahr arbeiten vier ehrenamtliche Umwelt-Aktivisten für das Greenpeace-Schulprojekt „Läßt die Sonne rein“ an der solaren Bewußtseins-erweiterung des Nachwuchses – 25 Stunden pro Woche, sechs Stunden davon direkt im Unterricht.

„Läßt die Sonne rein“ gibt nicht nur Anleitungen zum Basteln mit Solar-Paneelen. „Kinder sollen den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Klimaschutz begreifen“, sagt Greenpeace-Mitarbeiter

Bernd Jaenicke. Schüler, Hausmeister, Lehrer und Schulleiter müßten sich gemeinsam Gedanken zum Energiesparen machen. Ansatzpunkte gebe es genug: „Die Dauerbeleuchtung in der ungenutzten Sporthalle, die Energieverschwender-Lampen im dunklen Flur und die Neonröhren direkt am Fenster können ebenso kritisch unter die Lupe genommen werden wie die Raumtemperaturen von oft 23 Grad.“

Am Baumschulenweg erhält demnach der schuleigene Gartenteich einen Springbrunnen, der aus Sonnenstrom gespeist wird. „Rund 800 Mark hat die Energieleitstelle beim Senator für Umweltschutz dafür bewilligt“, berichtet Jaenicke.

Langfristig sollen die Schulen ihren Strom vom eigenen Dach beziehen. Leistungsfähige Solarpaneele wurden dann normalen 230-Volt-Steckdosenstrom liefern. Das zumindest ist Teil des Greenpeace-Plans. „Auf diese Weise konnten Schu-

len nicht nur einen Teil ihres Energiebedarfs selbst decken“, meint Jaenicke. „Jede zusätzlich produzierte Kilowattstunde wird ins Netz eingespeist und von den Stadwerken entsprechend vergütet.“ Bis zu vier Kilowatt je Schule sind nach seiner Ansicht realistisch. Drei Modellschulen – Baumschulenweg, Gesamtschule Mitte und Kooperative Gesamtschule Stuhr-Brinkum – sieht Greenpeace für das Projekt vor.

Energieleitstelle und Bildungsgressort sollen nur einen Teil der Kosten tragen. Einen weiteren Teil müßten die Eltern aufbringen. Auch Firmen könnten als Sponsoren gewonnen werden. „Pro Kilowatt kostet das zur Zeit rund 15 000 Mark“, meint Bernd Jaenicke – und versichert: „Aber die Preise sinken.“

■ Fragen und Anträge zum Schulprojekt „Läßt die Sonne rein“ bearbeitet Bernd Jaenicke bei Greenpeace Bremen, Telefon 55 22 56.

Weser Kurier 21.02.97

Die Kinder der Primarstufe bastelten im Unterricht und in ihren Projektwochen Sonnen-Boote, Solarkarussells und Wasserräder. Die geringen Geldbeträge zum Kauf von Materialien für Bastelarbeiten stellte die Bremer Greenpeace-Gruppe zur Verfügung. Durch die Unterstützung der Bremer Umweltgruppe erhielt die Grundschule Baumschulenweg 1997 einen Zuschuss in Höhe von 500,- DM aus öffentlichen Mitteln zum Kauf eines Solarmoduls. Mit dieser Solaranlage gewinnen die Kinder den Strom, den sie zum Betrieb einer Umwälzpumpe für den Schulteich benötigen, umweltschonend durch Sonnenenergie.

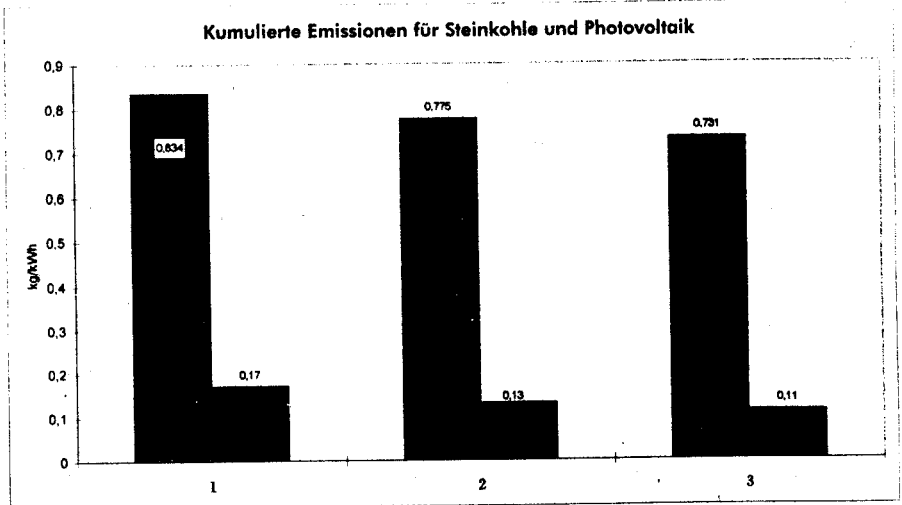
Ferner wurde mit dem Elternvertreter, den Lehrerinnen und Lehrern der Schule am Baumschulenweg ein Energierundgang in der Schule durchgeführt. Hierbei zeigte sich schnell, wo die „Energieverschwen-der“ wie z. B. offene, undichte Fenster, brennende Lampen in leeren Klassenzimmern, überhitzte Klassenräume durch fehlende Heizkörperthermostate steckten.

Mit Blick auf die Zukunft werden die Kinder und Jugendlichen sowie die Bremer Schulen auch weiterhin von den ehrenamtlich tätigen Greenpacer-Mitgliedern unterstützt.

Einerseits werden Energieeinsparungen an den Schulen ein vorrangiges Thema bleiben, und andererseits wird das Thema „Solarenergie“ weiterhin umgesetzt. Bei letzterem sind die Schulen allerdings auf die Unterstützung von Politikern, den Stadtwerken und der Bremischen Energieleitstelle abhängig, die jedoch noch zu wünschen übrig lässt.

GREENPEACE e.V.

	1. STAND (97)	2. FORTSCHRITT (2005)	3. BEST (2020)
Steinkohle	0,834	0,775	0,731
Photovoltaik	0,17	0,13	0,11



Meine Ausführungen möchte ich wie folgt zusammenfassen: Eine ökologische und solare Energiewende ist hier und heute möglich. Das heißt, fossile Energien einzusparen und durch regenerative Energien, vor allem durch Solarenergie, zu ersetzen. Durch Massenproduktion kann der kumulierte Kohlendioxidwert für Photovoltaikanlagen bis auf 0,11 kg pro erzeugte kWh Strom gesenkt werden. Die umweltfreundliche Technologie Photovoltaik hat somit eine Chance und kann über kurz oder lang mit den anderen regenerativen Energien die fossilen Energieträger schrittweise vom Markt verdrängen. Mit diesem Vorgehen können die CO₂-Werte vor allem in den Industrienationen drastisch vermindert und der folgenden Generation somit eine bessere Zukunftsperspektive gegeben werden.

Lutz Stäudel, Elke Peter

Biomasse - zum Verbrennen zu schade

- Konzepte und Experimente zum schulischen Umgang mit nachwachsenden Rohstoffen¹⁾ -

Sind „Nachwachsende Rohstoffe“ zum Verbrennen zu schade, wie die Vertreter einer „Sanften Chemie“ feststellen, oder ist Biosprit die Alternative fürs nächste Jahrtausend? Wie immer auch diese Frage in der Zukunft entschieden werden wird, es werden die heute heranwachsenden Generationen sein, die sich damit auseinandersetzen müssen. So viel steht fest: Die Vorräte an fossilen Rohstoffen (Erdöl, Erdgas, Kohle) schwinden, die massenhafte Nutzung von Treibstoffen im Verkehrsbereich und von Kohle und Erdöl zur Stromgewinnung und Hausheizung tragen maßgeblich zur Verstärkung des Treibhauseffekts bei, und schließlich verursachen Teile der auf Erdölbasis produzierten Werkstoffe die Hauptprobleme im Müll.

Nachwachsende Rohstoffe versprechen Abhilfe oder zumindest Problemverminderung in jedem dieser Bereiche. Denn sie werden gespeist von der Energie der Sonne und stellen ähnlich vielseitige Rohstoffe dar wie die fossilen Ressourcen, und zwar sowohl für die Produktion wie für die Energieerzeugung. Sie gelten als weitgehend umweltverträglich und sind eingebunden in den globalen Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislauf. Und wie die Zahlen zeigen, werden nachwachsende Rohstoffe bereits auf einer halben Million Hektar angebaut, z.T. auf normalen landwirtschaftlichen Flächen, z.T. auf Stilllegungsflächen. (Tabelle 1)

1) Der einleitende Text erschien zuerst unter dem Titel „Nachwachsende Rohstoffe - nachhaltige Bildung - Elemente zu einer Unterrichtsreihe“ in: FWU-Magazin, 7. Jhg., H.4/1995, S. 30 - 35. Er wurde für diesen Tagungsband gekürzt, aktualisiert und mit den Experimentieranleitungen verknüpft.

Tabelle 1: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (ha)

Rohstoff	1995		1996	
	nicht stillgelegte Basisfläche a)	Stilllegungsfläche b)	nicht stillgelegte Basisfläche a)	Stilllegungsfläche b)
Stärke	130.000	2.700	130.000	62
Zucker	8.000	0	8.000	0
Rapsöl	5.000	331.000	5.000	240.600
Leinöl	54.000	3.200	54.000	1.400
Sonnenblumenöl	13.000	17.000	23.300	8.700
Flachsfasern	3.370	10	4.600	3
Heilstoffe	4.000	800	4.000	1.100
Sonstiges	0	7.100	1.400	5.900
Summe	217.370	361.810	230.300	255.765
Anbau nachwachsender Rohstoffe insgesamt	579.180		486.065	
Quellen:			1) Stand 01.08.96	
a) Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten				
b) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung				
Aus: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Internetadresse http://www.dainet.de/fnr/stat/)				

Gründe genug, nachwachsende Rohstoffe zum Unterrichtsgegenstand zu machen! Tatsächlich berücksichtigen neuere Lehrpläne bereits dieses Thematik²⁾. Auch gibt es inzwischen eine Reihe von Unterrichtsmaterialien und -entwürfen sowie -medien³⁾.

Wie Unterricht mit und über nachwachsende Rohstoffe gestaltet werden kann, soll im ersten Teil vor dem Hintergrund praktischer Erfahrungen skizziert werden. Im zweiten Teil dieses Beitrags werden dann die zugehörigen Versuche kurz dargestellt.

2) Vgl. Hessischer Rahmenplan Naturwissenschaften Sekundarstufe I (1996) sowie den nordrhein-westfälischen Lehrplan für den Lernbereich Naturwissenschaften Gesamtschule Sek. I (Entwurfssfassung Februar 1997)

3) Siehe Literatur

Rahmenthema: Fossile und nachwachsende Rohstoffe (9/10. Jahrgang)

Zielsetzungen für den Unterricht

Für Teile der stofflichen Produktion ist eine Umstellung vom Rohstoff Erdöl auf nachwachsende Rohstoffe zu erwarten. Die ist möglich, da beide aus Kohlenstoffverbindungen aufgebaut sind, die sich zu ähnlichen Produkten weiterverarbeiten lassen. Mit dem Wechsel der Rohstoffbasis sollen einerseits die begrenzten Erdölressourcen geschont, zum anderen aber auch eine umwelt- und sozialverträgliche Wirtschaftsweise gefördert werden.

Diesen Vorteilen und einer Vermeidung von zusätzlichem CO₂-Ausstoß stehen aber offene Fragen gegenüber, die Aspekte betreffen wie:

- Nutzung stillgelegter Agrarflächen / Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion
- Umweltverträglichkeit des Anbaus / Entsorgungsprobleme
- Verträglichkeit für Menschen und Natur
- neue (politische) Abhängigkeiten (Dritte Welt als Anbaugebiet),
- steigender Bedarf / Begrenztheit der nachwachsenden Ressourcen

Unter *naturwissenschaftlichem Aspekt* werden an Beispielen charakteristische Eigenschaften rohstoffliefernder Pflanzen, deren Kulturbedingungen sowie der chemische Aufbau der produzierten Rohstoffe mit Erdölderivaten verglichen.

Der *Technikaspekt* thematisiert die Möglichkeiten und Verfahren der Rohstofferschließung, ihrer Weiterverarbeitung und deren ökonomische Bedeutung und Chancen der Vermarktung. An ausgewählten Beispielen sollen die zugehörigen Technologien bzw. Verfahren praktisch erarbeitet werden.

Der *Umweltaspekt* beleuchtet die Möglichkeiten umweltverträglicher Produktion auf der Basis fossiler und nachwachsender Rohstoffe und deren Grenzen bei massenhafter industrieller Nutzung.

Verbindliche Inhalte

- Photosynthese als Grundlage der Biomassebildung
- Kohlenwasserstoffverbindungen als Energielieferanten des organischen Lebens, als Strukturbildner in Pflanzen (Zellulose, Stärke, Zucker) und als technische Rohstoffe
- Kohlenstoffkreislauf, Kohlenstoffbilanzen
- Beispiele für Nutzpflanzen, die nachwachsende Rohstoffe liefern
- historische und moderne Verarbeitungsverfahren für fossile und nachwachsende Rohstoffe am Beispiel
- Kohlenstoffverbindungen als Werkstoffe (Kunststoffe)^{a)}
- Strukturbetrachtungen an Kohlenstoffverbindungen

Mögliche Themen^{b)}

- „Öle, Fette und Duftstoffe für Pflege und Schönheit“
- „Seife aus Talg - neue Waschmittel aus Zuckerrüben und Raps“
- „Mit Lein bauen, streichen, weben, schmieren und bremsen“
- „Verpackungen aus Erdöl, Cellulose oder Stärke?“

a) Nur für den gymnasialen Bildungsgang

b) Bei der Bearbeitung der Themen ist darauf zu achten, dass Aspekte von Phasen und Grenzflächen, Mischbarkeit und Emulgiervermögen sowie der Zusammenhang von Eigenschaften und Struktur von Lösungsmitteln auf Teilchenebene einbezogen werden.

1. Grundsätzliches

Für heutige Schülerinnen und Schüler sind nachwachsende Rohstoffe in der Regel (noch) kein Begriff; zudem ist für viele die Vorstellung befremdlich, Rohstoffe für technische Prozesse aus Pflanzen zu gewinnen, die sonst für Nahrungszwecke angebaut werden. Eine Ausnahme bildet allenfalls der „Biosprit“, der in den letzten Jahren in den Medien vielfach Beachtung gefunden hat.

Aufgabe und Ziel einer Unterrichtssequenz zum Thema muss es daher sein, den Begriff „nachwachsende Rohstoffe“ mit Inhalt zu füllen und eine realistische (vorläufige) Einschätzung des Möglichen zu bewirken. Dazu gehört das Verständnis dafür, wie und in welchem Umfang sich Biomasse durch Aufnahme von Sonnenlicht bildet, eine Übersicht über heute diskutierte und ansatzweise genutzte Rohstoffpflanzen, die dabei verwendeten Technologien und - vor allem - der praktische Umgang mit nachwachsenden Rohstoffen an einem charakteristischen Beispiel. Die dabei notwendige Bezugnahme auf biologische und chemische, technische und energetische, ökologische und ökonomische Aspekte macht deutlich, dass die Behandlung von nachwachsenden Rohstoffen immer fächerübergreifenden Charakter besitzt. Welche Aspekte schließlich vertieft werden, hängt davon ab, im Rahmen welchen Faches oder Lernbereichs die Thematik bearbeitet wird.

Dass bei den folgenden Beispielen und Vorschlägen für die Auseinandersetzung mit nachwachsenden Rohstoffen praktische Zugänge und Methoden im Zentrum stehen, hat primär lernpsychologische Gründe: Konkretheit und eigenes Handeln sind konstitutiv für das Begreifen, wie die folgende kleine Szene aus dem Unterricht mit einer 9. Klasse (AGS, Realschulzweig) veranschaulicht:

Im Zusammenhang mit dem nachwachsenden Rohstoff Stärke wurden Zucker und Kartoffelmehl verbrannt und die Verbrennungsprodukte Kohlendioxid und Wasser nachgewiesen. Um den Zusammenhang zur Verbrennung von Kohlenwasserstoffen herzustellen, wurde im zweiten Schritt die Flamme eines Gasfeuerzeugs als Beispiel für eine

„offene Verbrennung“ untersucht. Als dann die Atemluft (mit den Produkten der „stillen Verbrennung“ von Kohlenhydraten im Körper) das Kalkwasser ebenso trübte wie zuvor die Verbrennungsgase der Feuerzeugflamme, fragte ein Schüler überrascht: „Dann habe ich also etwas wie ein Feuerzeug in meinem Bauch?“ Von hier aus war es im anschließenden Unterrichtsgespräch nicht mehr weit bis zu einem umfassenden Begriff von Kohlenstoffverbindungen und zur Vorstellung, dass die Sonne sowohl Motor ist für biologische wie für die meisten technische Prozesse, vermittelt über Fotosynthese und die Bildung von nutzbarer Biomasse in den grünen Pflanzen.

Wie unterschiedlich die Zugänge zur Thematik und deren weitere Entwicklung in der Schulpraxis sein können, soll im folgenden Abschnitt an drei Beispielen skizziert werden.

2. Drei Startsequenzen, drei Themenentwicklungen

„Zum Verbrennen zu schade?“, lautete die Überschrift über einen Zeitschriftenartikel, mit dem ein Unterrichtsprojekt in einer 12. Gymnasialklasse begann. Der Lehrer hatte zusätzlich Texte vorbereitet, in denen es vorzugsweise um den Anbau und die Verwertung von Energiepflanzen ging: Raps, Zuckerrohr und Chinaschilf. Bei der Auswertung wurde die gemeinsame stoffliche Grundlage herausgestellt: durch Fotosynthese in Grünpflanzen gebildete organische Verbindungen, die jedoch unterschiedlichen Stoffklassen angehörten, einerseits den Kohlenhydraten (Zucker, Stärke, Zellulose), zum anderen den Fetten. Geklärt wurde theoretisch, wie daraus nutzbare Treibstoffe hergestellt werden können: beim Zucker durch Gärung mit dem Endprodukt Methanol, beim Rapsöl, einem Fettsäureester, durch Umesterung unter Einsatz von Methanol und Schwefelsäure.

Entsprechende Versuche wurden später von einer Kleingruppe unter Anleitung des Lehrers durchgeführt und die erhaltenen, natürlich unreinen Treibstoffproben auf ihre Brennbarkeit untersucht. Beim Biosprit aus Rapsöl ließ sich so feststellen, dass der Flammpunkt um mehr als 100 Grad sinkt und die gewonnene Flüssigkeit viel besser

verbrennt, als das reaktionsträge Pflanzenöl selbst. Die anderen Gruppen beschäftigten sich parallel mit Fragen der stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Alle zusammen thematisierten abschließend die Frage, inwieweit Konzepte der Energiegewinnung aus Biomasse tatsächlich in der Lage wären, den heutigen Bedarf unter vertretbaren Bedingungen zu decken.

Für eine 8. Hauptschulklasse war der Ausgangspunkt das Leben in vorindustrieller Zeit. Zunächst konnten sich die Schülerinnen und Schüler kaum vorstellen, wie man damals lebte: ohne Strom und auch ohne Kohle oder Erdöl als Energielieferanten, auch fehlten die heute vielfach im Alltag anzutreffenden Kunststoffe. Ein Besuch im örtlichen Heimatmuseum zeigte ihnen eine „energetische“ und stoffliche Vielfalt von ganz anderer Art. Holz war sowohl universeller Werkstoff wie auch bevorzugter Brennstoff, Pflanzenfasern, insbesondere Hanf, dienten als Rohstoff für Seile und Säcke, Lein bzw. Flachs als Ausgangsmaterialien für Tuche und Kleidung. Die Materialien erschlossen sich weitgehend über die im Museum dargestellten Szenen, von denen viele handwerkliche Tätigkeiten und Berufe zum Gegenstand hatten: Seiler, Tuchmacher, Bauleute, Gerber, Färber. Der weitere Unterricht hatte im Wesentlichen die Nutzungsmöglichkeiten von Naturmaterialien zum Gegenstand: Es wurde mit Fasern experimentiert, Wolle mit Pflanzenextrakten gefärbt, Kleber aus Stärkemehl hergestellt oder aus Kasein.

In einer 10. Klasse (Realschule) hatte eine Schülerin aus dem Italien-Urlaub eine Plastiktüte mitgebracht. Soweit sie mit Hilfe ihrer Eltern entziffern konnte, besagt der Aufdruck „zu 80 % aus Maisstärke, biologisch abbaubar“. Die Biologielehrerin, danach befragt, ob das denn möglich sein könne, erinnerte sich an einen Artikel in einer fachdidaktischen Zeitschrift, in dem die Herstellung einer essbaren Folie aus Kartoffelstärke beschrieben war. Mit den leicht zu beschaffenden Materialien (gewöhnliches Stärkemehl, lösliche Stärke, Glycerin, Wasser und einer Plexiglasplatte als Unterlage für die heiß gegossene Folie) wurde das Rezept mit Erfolg selbst ausprobiert. Weil damit vielleicht große Teile der heutigen Produktion von Kunststoffen auf Erdölbasis ersetzt werden könnten, die Konsequenzen aber kaum abzusehen

wären, blieb dieses Thema für weitere 4 Wochen Gegenstand des Unterrichts. Schwerpunkte bildeten die Erarbeitung des Kohlenstoffkreislaufs und der Fotosynthese, die Nutzungsperspektiven in Landwirtschaft und Technik sowie der Abbau der möglichen Produkte durch Mikroorganismen.

3. Drei Vorschläge für die praktische Arbeit

Nicht immer stellen sich die Anlässe für Unterricht quasi von selbst ein, wie bei den beiden zuletzt beschriebenen Beispielen. Daher werden nachfolgend drei Konzepte beschrieben, die sich eher systematisch aus dem Gegenstandsbereich „Nachwachsende Rohstoffe“ herleiten. Für eine solche Auswahl ist eine Übersicht über die in Frage kommenden Pflanzen und die aus ihnen gewinnbaren Stoffe hilfreich. (Tabelle 2)

Tabelle: Nachwachsende Rohstoffe in Übersicht (Auswahl)

Ölpflanzen	Pflanzen, die Zucker und Stärke produzieren	Faserpflanzen	andere „Rohstoffpflanzen“
Rohstoffpflanzen (in Klammern nicht einheimische)			
Raps Sonnenblume Lein Senf Rüben (harzliefernde Baumarten)	Mais Kartoffeln Weizen Markerbsen Zuckerrüben Topinambur (Zuckerrohr)	Faserlein (Flachs) Hanf (Baumwolle) (Sisal)	Waid Krapp Saflor (Indigo) Heilkräuter
Pflanzeninhaltsstoffe			
verharzende Öle (als Filmbildner für Lacke, zur Linoleumherstellung u.a.) etherische Öle (als Lösungsmittel) Fette, Fettsäuren	Zucker Stärke Zellulose	Fasern (Lang- und Kurzfasern)	Farbstoffe Wirkstoffe (pharmazeutische und andere, z.B. für den Pflanzenschutz)
daraus hergestellte Produkte			
Farben, Lacke, Kleber, Schmiermittel, Seifen, Tenside, Lösungsmittel, Kosmetika	Papiere und Pappen, Verpackungen, Platten, Waschröhstoffe, Kleber, Folien und Kunststoffe, Füllstoffe, Kosmetika	Textilien, Spezialtextilien (Filter), Seile, Besspannungen, Faserplatten, Dämmstoffe, Bremsbeläge, Papiere	Faben und Lacke, Kosmetik, Pharmaprodukte, Repellents

Nach: Begleitkarte zum FWU-Film Nachwachsende Rohstoffe

Nach den bisherigen Erfahrungen im Unterricht eignen sich für eine praktische Umsetzung insbesondere der Lein als Faser- und Ölpflanze, die Stärke als Industrierohstoff sowie das Thema Wolle und Pflanzenfarben (mit einem besonderen handwerklichen Schwerpunkt).

Lein als Faser- und Ölpflanze⁴⁾

Bei näherer Betrachtung stellt sich die mindestens 4000 Jahre alte Kulturpflanze Lein oder Flachs als nahezu universell verwendbarer Rohstofflieferant dar:

- Aus den Langfasern lassen sich hochwertige Garne und Stoffe fertigen, Leinen für Kleidung und Spezialtextilien für Industriefilter,
- die Kurzfasern dienen als Asbestersatz bei der Herstellung von Bremsbelägen und können zu Dämmplatten für den Hausbau verarbeitet werden,
- Leinöl schließlich ist einerseits Nahrungsmittel, andererseits aber auch Rohstoff für Farben und Lacke sowie für die Herstellung von Linoleum.

Für praktische Experimente eignet sich unter schulischen Bedingungen das Leinöl besser als die Faser.

Rezepte zur Herstellung von *Anstrichmitteln auf Leinölbasis* finden sich z.B. in älteren Schulbüchern, in Firmenschriften alternativer Farben- und Lackhersteller⁵⁾ sowie in Handwerksliteratur. So können aus Leinöl oder Leinölfirnis durch Verreiben mit fein geriebenem Pigment *Ölfarben* (Künstlerfarben) hergestellt werden. Als Pigmente eignen sich verschiedene Erdfarben und Minerale. Durch Verdünnen mit Terpentinöl erhält man die fertige Ölfarbe.

4) Eine ausführliche Darstellung eines Leinölprojektes findet sich bei: Stäudel, Mander, Rudolph 1995

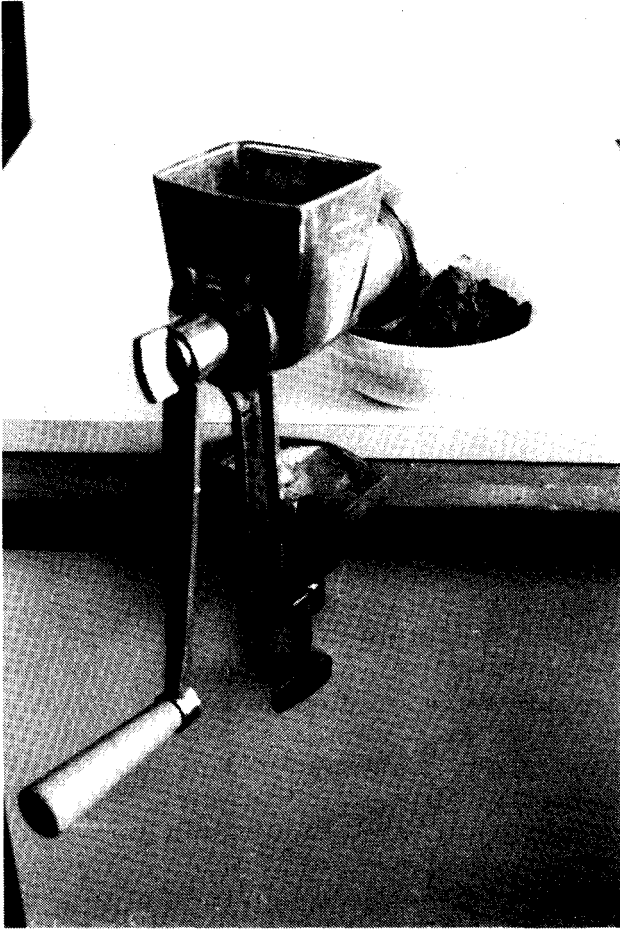
5) Unterlagen erhält man z.B. von der Fa. AURO, Postfach 1238, 38002 Braunschweig. Über den umweltverträglichen Leinölanbau informiert ein kurzes Video des Herstellers („Leinölprojekt“).

Bei der *Tempera-Herstellung* (auf Casein-Basis) spielt das Leinöl nur eine Nebenrolle: Aus Magerquark und (gelöschtem) Kalk entsteht der gelblich-glasige Kasein-Leim. Dem verdünnten Leim wird etwas Leinöl sowie die gewünschten Pigmente zugesetzt.

Die selbst hergestellten Anstrichmittel können, auch im schulischen Rahmen, *Haltbarkeitstests* unterzogen werden, indem man sie auf ähnliche Flächen aufstreicht und der Witterung aussetzt.

Leinöl bietet auch fachlich interessante Aspekte. Der Mechanismus des Verharzens, bei der Ölfarbe spricht man landläufig vom „Trocknen“, ist als radikalische Kettenreaktion ebenso ergiebig, wie die theoretische Behandlung der Herstellung synthetischer Kunststoffe.

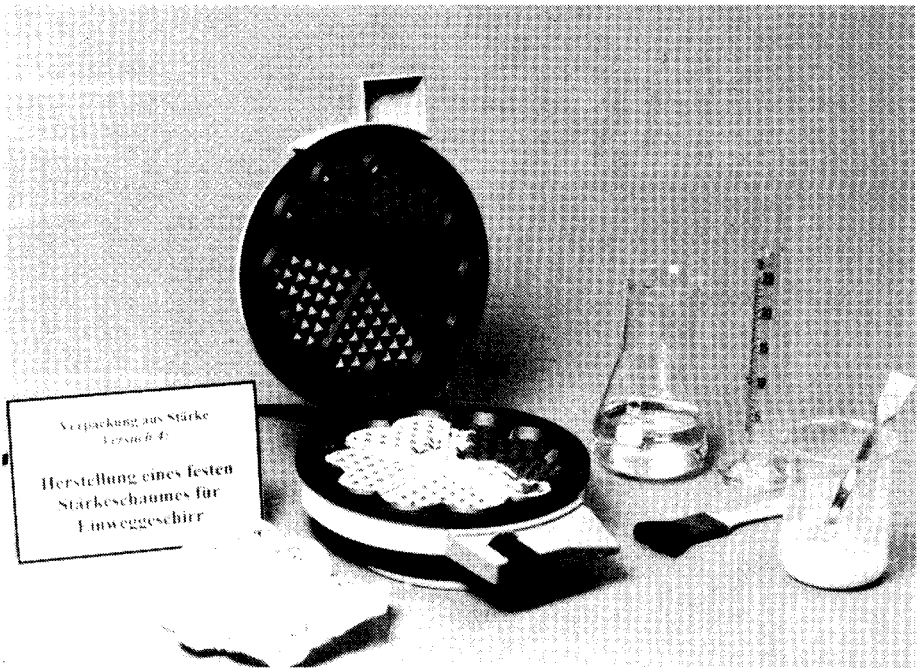
Bei der *Linoleumherstellung* ist der erste Schritt ebenfalls eine Verharzung: durch Sonnenlicht, Wärme oder katalytische Unterstützung durch Schwermetallspuren findet eine teilweise Vernetzung zum zähflüssigen „Standöl“ (Linoxyn) statt. Auch der weitere Prozess lässt sich mit schulischen Mittel leicht nachvollziehen. Dem Linoxyn wird geschmolzenes Kolophonium zugemischt, wodurch sich nach weiterem Erhitzen Linoleumzement mit kautschukartiger Konsistenz bildet. Der abgekühlte Linoleumzement wird in Kreidestaub oder Holzmehl gewälzt. Mittels eines Fleischwolfs (anstelle der industriellen Schneckenpresse) erfolgt das Verkneten mit den restlichen Zutaten: Holzmehl, Korkmehl und Kreide. Die noch warme Masse wird auf Jutegebe (Sack-Material) aufgedrückt und nach Erhalt einer glatten Oberfläche einige Tage reifen gelassen. Das Ergebnis der Bemühungen, z.B. am Ende einer Projektwoche, kann dem kritischen Vergleich mit dem Industrieprodukt durchaus standhalten.



Stärke

Aus Stärke lassen sich, über die bereits erwähnte *Folie* hinaus, weitere interessante „Warenproben“ herstellen.

In Fast-Food-Ketten sind mit der Verpackungsverordnung örtlich essbare Pommes-Frites-Tüten eingezogen, die sich ähnlich in der Schule aus *Stärkeschaum*⁶⁾ herstellen lassen. Im Waffeleisen gebacken (mit oder ohne Backtriebmittel), entstehen aus Stärkemehl und Johannisbrotkern- oder Guarkernmehl „Formteile“, die ebenfalls essbar sind.



6) Dieser und weitere Versuche sind ausführlich beschrieben in: Stäudel, Sauer 1994. Mit der Lieferung 1995 liegt zudem ein Rollenspiel vor, das die Vor- und Nachteile der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen im Verpackungsbereich thematisiert.

Ob man daraus auch Einwegbecher für die Schulmilchabgabe herstellen sollte, ist mehr als fraglich. Diese Verwendung verweist vielmehr auf die, auch in der Schule zu diskutierenden Grenzen des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen in diesem Bereich: Im täglich wiederkehrenden, stationären Betrieb hat der Stärkebecher sicher keine Zukunft. In der ökologischen Bilanz schneiden hier Porzellan oder ähnliche Materialien weit besser ab, die Belastungen durch Spülmittel und -wasser eingerechnet. Jedoch sind eine Reihe von Situationen vorstellbar, in denen Einweggeschirr die Alternative der Wahl darstellt. Bei einem open-air-Fest z.B. weist ein Material, das im Gebrauch feuchtigkeitsundurchlässig ist, nach der Nutzung aber kompostiert oder verfüttert werden kann, deutliche Vorteile auf.

Entsprechende Kompostierungsversuche können mit schulischen Mitteln leicht durchgeführt werden. Lohnend sind parallel hierzu Betrachtungen der Lebenswege der Produkte auf Basis von fossilen bzw. nachwachsenden Rohstoffen (Produktlinienanalysen) und der Versuch einer vergleichenden Bewertung.

Wollefärben mit Pflanzenfarbstoffen

Von allen praktischen Vorschlägen für den Unterricht hat das Wollfärben die längste Tradition. Je nach zur Verfügung stehender Zeit können entweder bestimmte Arbeitsgänge realisiert werden, z.B. das Färben von bereits gesponnener Wolle mittels käuflicher Färbedrogen wie Krapp oder Indigo, oder man vollzieht den Herstellungsprozess von Grund auf. Dieser beginnt dann mit dem Sammeln und Trocknen von Färbepflanzen, z.B. Färberwaid, Möhrenkraut oder Zweibelschalen bzw. mit dem Beschaffen von Rinden, den äußeren Schalen von Nüssen oder Zapfen. Wolle „wie geschoren“ gibt es beim Schäfer oder einem Wollkontor, Spinnräder und Karden (zum Kämmen der gewaschenen Rohwolle) können in einschlägigen Geschäften oder bei ländlichen Vereinen ausgeliehen werden.



Die zeitintensiven Arbeitsschritte vom Beizen der Wolle mit Alaun über die Vorbereitung der Färbeflotte bis zum Färben und Klarwaschen geben hinreichend Gelegenheit, sich mit den historischen Aspekten dieses Handwerksbereichs ebenso auseinander zu setzen wie mit den ökologischen und ökonomischen Randbedingungen⁷⁾.

Damit erschließen sich Epochen sozialen Wandels, z.B. der Niedergang des europäischen Waidanbaus nach Forcierung der kolonialen Indigoproduktion in Indien, wie auch deren Ende, nachdem die aufblü-

7) Ausführliche Anleitungen für den schulischen Umgang mit Wolle und Pflanzenfarben finden sich in: Naturwerkstatt I: Wolle, Pflanzenfarben, Färben. Soznet Materialien für den Unterricht Band 29. Marburg 1990 (vergriffen). Nachdruck: Forum Eltern und Schule, Huckardestraße 12, 44147 Dortmund

hende chemische Industrie den Farbstoff rein und wesentlich billiger in der Retorte herstellen konnte.⁸⁾

Fachlich angliedern lassen sich hier Aspekte wie die physikalisch-chemischen Grundlagen von Farbigkeit, Weidewirtschaft unter den Bedingungen industrialisierter Landwirtschaft, Textilfaser-Import u.a.m.

4. Widersprüche fruchtbar machen

Bei der eher theoretischen Bearbeitung der Möglichkeiten nachwachsender Rohstoffe kann, ausgehend vom jeweils gewählten Beispiel, auch die weitere ökologische und politisch-gesellschaftliche Sphäre erschlossen werden. In fast jedem der angesprochenen Bereiche ist ein einfaches Auswechseln der Rohstoffbasis - von den fossilen zu nachwachsenden Rohstoffen - nicht oder nur bei massiver Veränderung der Randbedingungen möglich. So wurden z.B. in den letzten Jahren Zuckertenside, aufgebaut aus Palmölen und Zucker, entwickelt und vermarktet, die heute die herkömmlichen Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln bereits teilweise ersetzen. Während dies für uns Europäer wegen der guten biologischen Abbaubarkeit eine weitgehende ökologische Entlastung der Gewässer bedeutet, wird dieser Fortschritt durch zumindest ambivalente Auswirkungen auf die Rohstofflieferanten in der Dritten Welt erkaufte. Die industrielle Nachfrage begünstigt Monokulturen, verbunden mit dem Einsatz von synthetischem Dünger und Pflanzenschutzmitteln. Mit der Konkurrenz des Rohstoffanbaus zur Nahrungsmittelproduktion geht eine Verschlechterung der Versorgungslage im jeweiligen Land einher.

Ähnliche Szenarien lassen sich für andere Stoffgruppen oder Nutzpflanzen entwickeln, ab der 8. Klasse in der Regel auch zusammen mit den Schülerinnen und Schülern. In diesem Zusammenhang kann auch vermittelt werden, was es mit Bewertungsinstrumenten wie einer Ökobilanz oder einer Produktlinienanalyse auf sich hat.

8) Für die Schule geeignete Texte hierzu finden sich z.B. in: Andersen, Spelsberg (Hrsg.) 1990

5. Übergreifende Themen für eine nachhaltige Bildung

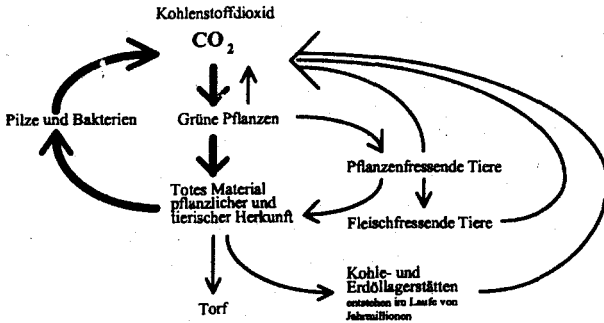
Wie bereits dargestellt ist das Verständnis des Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislaufs wichtiges Globalziel der Auseinandersetzung mit nachwachsenden Rohstoffen. Zur Erarbeitung eignen sich praktisch beliebige Stoffbeispiele. Auch für die oben erwähnten Ansätze lässt sich in jedem einzelnen Fall zeigen,

- wie am Beginn der Stoffkette durch Energie von der Sonne und Aufnahme von Kohlendioxid und Wasser (sowie Stickstoff und einigen Spurenelemente) der Rohstoff in der Pflanze gebildet wird,
- wie sich eine Veredelung und Bearbeitung durch den Menschen und eine zeitlich begrenzte Nutzung anschließt und schließlich
- ein Abbau durch Kleinstlebewesen erfolgt, bei dem die Ausgangsstoffe CO_2 und Wasser in gleicher Menge wieder freigesetzt werden.

Letzteres gilt natürlich auch für den Fall, dass die nachwachsenden Rohstoffe bzw. Produkte daraus gleich oder zum Ende ihrer Nutzung der Verbrennung zugeführt werden.

Die innige Verbindung dieser eher abstrakten Vorstellung mit konkreter experimenteller Praxis erscheint als außerordentlich bedeutsam. Mit dieser Verzahnung ist die Hoffnung verbunden, dass sich stabile Einsichten herausbilden, die von Anfang an in Verbindung stehen mit der Realität. Denn außerhalb der Schule fehlen für Jugendliche Erfahrungsmöglichkeiten für die prinzipielle Begrenztheit aller materiellen Bereiche. Zwar wissen längst alle, dass die verfügbaren Vorräte an fossilen Rohstoffen nicht unbegrenzt sind; in einer verschwenderisch mit Ressourcen umgehenden Industriegesellschaft hatte diese Einsicht jedoch bislang kaum Konsequenzen. Das mag damit zusammenhängen, dass es leichter ist, die Vorstellung von zu erwartenden Folgen der Verschwendung zu verdrängen als sich den möglichen Auswirkungen zu stellen.

Im Unterschied zu den Katastrophenszenarien einer falsch verstandenen Umwelterziehung bietet der Umgang mit nachwachsenden Rohstoffen Ansätze zu positiven Phantasien: Es geht nicht darum, moderne Werkstoffe grundsätzlich zu verbannen, vielmehr um eine Gestaltung ihres Lebenslaufs in umwelt- und sozialverträglicher Weise. Nachhaltige Bildung heißt in diesem Zusammenhang, dass ein Verständnis von den Stoffen, von der Bereitstellung und der Umwandlung von Energie, von den technischen Möglichkeiten moderner Wissenschaft immer eingebunden sein muss in eine Vorstellung der Wechselwirkung mit Natur und Umwelt.



Aus: RAAbits Chemie September 1994 S 8

„Alles bleibt irgendwo“ hatte der BUND vor Jahren bereits im Hinblick auf die zunehmende Belastung und Verschmutzung der Umwelt formuliert; dem ist heute hinzuzufügen: „Nicht ist, was nicht von der Sonne kommt“. Nachwachsende Rohstoffe helfen, eine Vorstellung von der Natur als Mitproduzentin zu entwickeln. Und weil man „keine zweite Erde in Reserve“ hat, kann nur ein nachhaltiges Wirtschaften, ein sorgsamer Umgang mit den zur Verfügung stehenden Möglichkeiten dauerhaften Nutzen bringen.

6. Versuchssammlung zur schulischen Behandlung der nachwachsenden Rohstoffe

Die hier zusammengestellten Vorschläge für Experimente, Untersuchungen und modellhaften Produktionsverfahren sollen dazu beitragen, die Auseinandersetzung mit den nachwachsenden Rohstoffen auf eine möglichst konkrete Basis zu stellen und die entsprechenden Begriffe vor dem Hintergrund konkreter stofflicher Erfahrungen zu entwickeln.

Die Auswahl der Vorschläge hat lediglich exemplarischen Charakter, die Zusammenstellung erfolgte nach Kriterien wie leichte Verfügbarkeit, Nähe zu Alltagserfahrungen bzw. zu aktuell diskutierten Fragen sowie den vorhandenen positiven Erfahrungen damit im Unterricht.

Die Gliederung in drei Gruppen entspricht der Zuordnung zu thematischen Schwerpunkten. Dies bedeutet weder, dass die jeweiligen Versuche *alle* oder gar in einer bestimmten Reihung durchgeführt werden sollen. Vielmehr sollen sie nach Bedarf dem Unterrichtsverlauf angegliedert werden. In der Mehrzahl können sie als Schülerversuche durchgeführt werden, wobei auf die einschlägigen Sicherheitsbestimmungen zu achten ist.

Gruppe 1: Versuche zum Kohlenstoffkreislauf

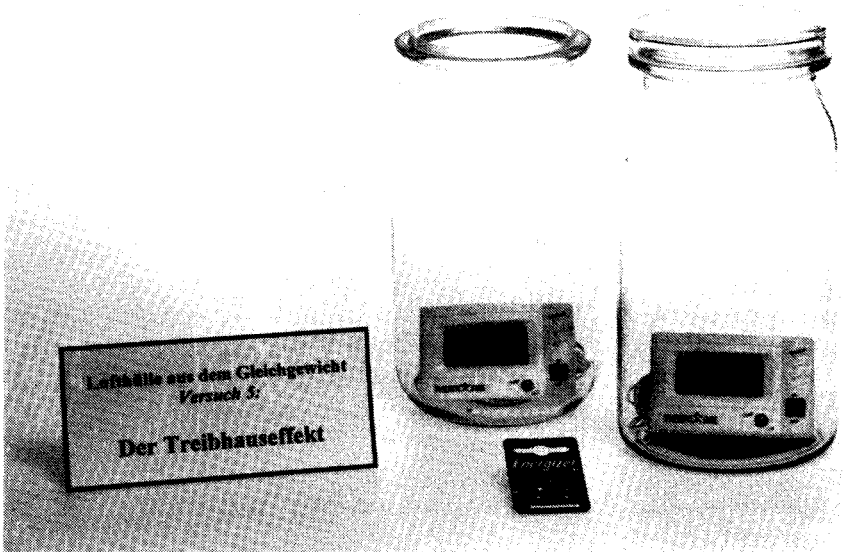
Diese Versuchsgruppe beleuchtet unterschiedliche Stationen des Kohlenstoff-Kohlendioxid-Kreislaufs: Die Freisetzung von CO_2 bei der Verbrennung, seine Wirkung als Treibhausgas, die Fixierung von CO_2 bei der Fotosynthese sowie die Bildung von Biomasse.

1 A Modellversuch zum Treibhauseffekt

Material: 2 Weckgläser, 2 (Digital-)Thermometer)

In zwei Weckgläser legt man je ein Thermometer. Das eine Glas wird mit dem passenden Deckel verschlossen, das andere bleibt offen.

Beide Gläser werden in die Sonne gestellt und die Temperaturveränderung in Minutenabständen beobachtet und notiert.



Der Modellversuch demonstriert den bekannten Effekt, dass Luft (oder auch andere Gase) in einem abgeschlossenen Glasgefäß schneller durch die Sonne aufgeheizt wird als im Freien. Um dies zu zeigen, wäre das offene Gefäß eigentlich entbehrlich, es dient im Modell jedoch zur Herstellung ansonsten vergleichbarer Bedingungen. Den Schülerinnen und Schülern sind aus dem Alltag zahlreiche ähnliche Situationen bekannt, die durch den Versuch in einen gemeinsamen Interpretationszusammenhang gestellt werden können: Auto in der Sonne, Frühbeet, Treibhaus beim Gärtner, ggf. auch Niedrigenergiehaus. Der Modellversuch dient in erster Linie der Sicherung der Begriffe „Treibhaus“ und „Treibhauseffekt“.

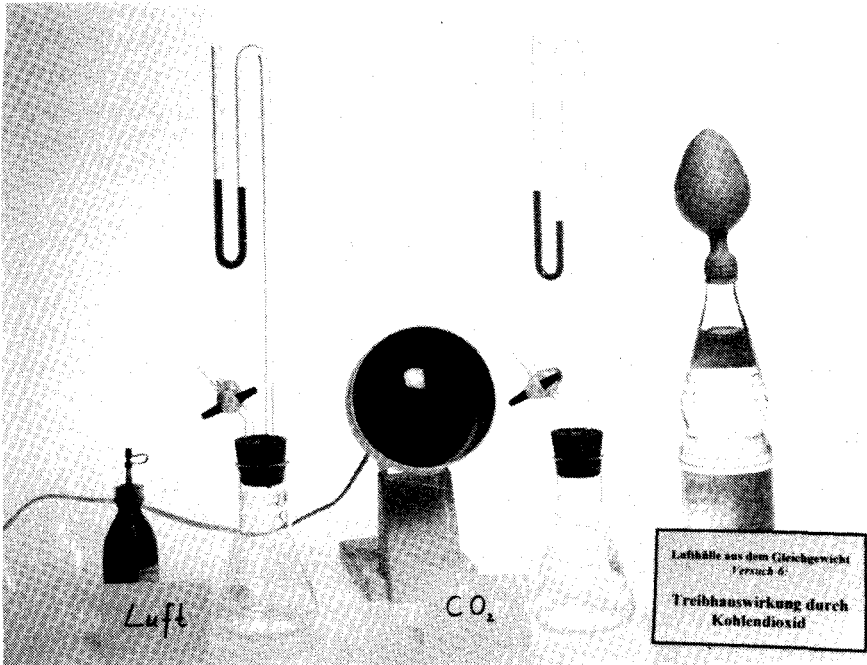
1 B Modellversuch: Kohlendioxid als Treibhausgas

Material: 2 kleine Weckgläser oder Marmeladengläser, 2 (Digital-) Thermometer, eine Flasche Mineralwasser, Luftballon, Glasrohr oder Trinkhalm, Infrarot-Lampe

In beide Gläser wird je ein Thermometer gelegt. Die Mineralwasserflasche wird geöffnet, etwas Wasser abgegossen (oder abgetrunken), über die Öffnung der Luftballon gezogen und die Flasche kräftig geschüttelt. Das Kohlendioxid, das sich dabei im Ballon sammelt, wird über einen Trinkhalm oder ein Glasrohr in das eine Glas geleitet und dieses sofort verschlossen. Das zweite Glas (mit Luft gefüllt) wird ebenfalls verschlossen, dann werden beide Gläser in gleichem Abstand vor die IR-Lampe gestellt und diese eingeschaltet. Die Temperaturveränderung wird in Minutenabständen beobachtet und notiert.

Kohlendioxid ist, besser als die Hauptbestandteile der Luft Stickstoff und Sauerstoff, in der Lage, langwellige Strahlung in Wärme umzuwandeln. Solche langwellige (Wärme-)Strahlung geht von der erwärmten Erdoberfläche aus und wird von Treibhausgasen wie CO_2 und Wasserdampf „eingefangen“. Je mehr Kohlendioxid sich in der Atmosphäre befindet, z.B. emittiert durch Verbrennung der fossilen Rohstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas, desto stärker kann sich die Lufthülle erwärmen.

Schemazeichnung zum abgewandelten Versuch



Der globale zusätzliche Treibhauseffekt wird neben CO_2 noch durch andere Gase aus antropogenen Aktivitäten „angeheizt“, durch Methan, FCKWs, Stickoxid und Kohlenwasserstoffe. Allen Treibhausgasen ist gemeinsam, dass ihre kleinsten Teilchen als mehr als zwei Atomen aufgebaut sind. Diese können Strahlung in innermolekulare Schwingungen umwandeln, was gleichbedeutend ist mit Wärme.

Empfindlicher wird dieser Versuch, wenn man statt der Marmeladengläser zwei Erlenmeyerkolben benutzt. In die Öffnung wird ein durchbohrter Stopfen gesteckt, der ein Manometerröhrchen mit einer gefärbten Flüssigkeit enthält. Bei Einwirken von Wärmestrahlung dehnt sich das Kohlendioxid durch schnellere Erwärmung auch schneller aus: der Miniskus steigt rascher als bei dem Kolben mit der Luft.

1 C CO_2 -Nachweis bei Verbrennung und bei Stoffwechselprozessen

Material: Porzellanschale, Dreifuß mit Drahtnetz, Bunsenbrenner, Glastrichter, Schläuche, Reagenzgläser, Glasrohr, Waschflasche (für Kalkwasser), Wasserstrahlpumpe, Kalkwasser, Materialien für Brennproben (Kohle, Holz, Erdgas, Feuerzeugbenzin, Popcorn, Zucker)

Verschiedene Materialproben werden mit der Brennerflamme entzündet. Die Verbrennungsgase werden über Trichter und Schlauch durch eine Waschflasche mit Kalkwasser geleitet. CO_2 ruft eine Trübung durch CaCO_3 hervor. Die Waschflasche wird dazu an einer Wasserstrahlpumpe angeschlossen. Am Trichter kondensiert Wasserdampf, der ggf. in einer leeren Waschflasche aufgefangen werden kann, die in einem Becherglas mit Eiswasser steht.

Erhitzt man ähnliche Materialproben im Reagenzglas über dem Bunsenbrenner, so zeigen die Zersetzungsprodukte eine braune bis schwarze Färbung, die vom Kohlenstoff herrührt.

1 D CO_2 -Fixierung durch Fotosynthese

Material: 6 große Reagenzgläser mit Stopfen, 2 Reagenzglasgestelle, drei Kaffeedosen o.ä. zum Abdunkeln, Glasrohr, Bromthymolblau-Lösung, drei Sprosse Wasserpest

Die Reagenzgläser werden mit Wasser gefüllt und einige Tropfen Bromthymolblaulösung dazugegeben: Der Inhalt der Kolben ist jetzt blau gefärbt. In drei Reagenzgläser wird mit einem Glasrohr so lange Atemluft eingeblasen, bis die Farbe des Indikators von Blau nach Gelb umschlägt. Der Umschlag rührt von im Wasser gelöstem CO_2 her. In zwei der so behandelten Reagenzgläser und eines ohne gelöstes Kohlendioxid wird je ein Spross Wasserpest gegeben. Die Gläser werden verschlossen, drei davon ins Licht gestellt, die drei anderen zum Vergleich mit einer umgestülpten Dose abgedunkelt. Nach ein bis

zwei Tagen wird die Färbung aller Lösungen kontrolliert. Alle Beobachtungen werden in eine Tabelle eingetragen.

Wasser + Bromthymolblau	X	X	X	X	X	X
+ Luft eingeblasen	X	X		X		
+ Wasserpest hineingelegt	X			X	X	
Farbe der Lösung	gelb	gelb	grün-blau	gelb	grün-blau	grün-blau
hell/dunkel stellen	hell	hell	hell	dunkel	dunkel	dunkel
Beobachtung nach ein bis zwei Tagen Der Indikator ist von gelb nach grün-blau umgeschlagen.	... nach wie vor gelb gefärbt.	... nach wie vor grün-blau gefärbt.	... nach wie vor gelb gefärbt.	... von grün-blau nach gelb umgeschlagen.	... nach wie vor grün-blau.

Der Indikator Bromthymolblau ist im sauren Bereich gelb, im alkalischen grün-blau bis blau. Sein Umschlagsbereich liegt zwischen pH 6 bis pH 7,6. Leitungswasser (pH ~ 7) bewirkt grünblaue Färbung.

Mit der eingeblasenen Atemluft kommt CO_2 ins Wasser, der pH-Wert stellt sich bei 4,5 ein, der Indikator schlägt von blau nach gelb um. Im Reagenzglas 1 ist CO_2 "verschwunden": die Pflanze hat im Licht CO_2 aufgenommen. Im Dunkeln (Reagenzglas 4) findet keine Fotosynthese statt, die Gelbfärbung bleibt erhalten. Reagenzglas 5: Die Lösung ist saurer geworden; es ist CO_2 dazugekommen, weil die unbelichtete Pflanze Kohlendioxid ausgeschieden hat: Sie hat im Dunkeln "geatmet".

1 D Stärkebildung durch Fotosynthese

Material: Bechergläser, Brenner mit Dreifuß oder Heizrührer, Pinzette, Ethanol, Jod/KJ-Lösung

Ein grünes Blatt wird kurz in kochendes Wasser eingelegt und anschließend in heißem Brennspiritus (Ethanol) geschwenkt. Es wird unter fließendem Wasser abgewaschen und in einer Petrischale mit Jod/KJ-Lösung beträufelt. Blaufärbung zeigt Stärke an, die durch Photosynthese gebildet worden ist.

Eine aufwendigere Variante dieses Versuchs besteht darin, ein Blatt an einer Pflanze - am besten eignen sich Geranien - zum Teil mit Aluminiumfolie abzudecken und dieses nach einigen Tagen wie oben zu untersuchen. An den unbelichteten Stellen kann keine Stärke nachgewiesen werden.

Jod lagert sich in die spiralig vorliegenden Stärke-Riesenmoleküle ein. Dabei werden die Bindungen so beeinflusst, dass die schwach violette Färbung bis zum tiefen Blau vertieft wird.

Gruppe 2: Stärke: Gewinnung, Produkte, Abbau

Die Versuche in dieser Gruppe drehen sich um die Stärke als wichtigen Rohstoff für die (chemische) Produktion. Die Vorschläge bewegen sich zwischen „Küchenchemie“ (Stärke aus Kartoffeln) und moderner Technologie (Folien aus Stärke).

2 A Stärkegewinnung aus Kartoffeln

Material: Messer oder Kartoffelschäler, Kartoffelreibe, 2 Plastikschüsseln, Geschirrtuch

Die Kartoffeln werden mit Messer oder Kartoffelschäler geschält und auf der Kartoffelreibe in eine Schüssel gerieben. Das Tuch wird über

der zweiten Schüssel ausgebreitet und der Brei vorsichtig in die Mitte geschüttet. Von den Seiten her rafft man das Tuch zusammen und presst es kräftig aus. Es tritt ein schwach gelblicher Kartoffelsaft aus, der den Großteil der Kartoffelstärke enthält. Die Masse wird nochmals mit Wasser versetzt und ausgepresst. Im Verlauf einer Stunde (oder über Nacht) setzt sich die Stärke als weißes Mehl am Boden ab. Der braun gewordene Saft wird abgegossen, die Stärke getrocknet und für weitere Versuche aufgehoben.

2 B Stärkenachweis

Material: Kartoffelstärke (aus 2 A oder käufliches Stärkemehl), Körner von Weizen, Mais u.ä., Bohnen, Objektträger, Messer oder Rasierklinge, Pipette, Mikroskop oder Binokular

Aus den durchgeschnittenen Körnern wird jeweils etwas Mehl herausgekratzt und mit einem Tropfen Wasser auf einen Objektträger gebracht. Das Deckgläschen wird darübergerlegt und leicht angedrückt. Das Präparat wird mit mindestens 100-facher Vergrößerung mikroskopiert. Die unterschiedlichen Formen der Stärkekörner können gut gezeichnet werden. Mit der Pipette gibt man einen Tropfen Jod/Kaliumjodid-Lösung an den Rand des Deckgläschens. Die Stärkekörner färben sich vom Rand her zunächst blau, dann intensiv blauschwarz.

2 C Verpackungsmaterialien im Vergleich

Material: Popcorn, Styroporschnippsel, ggf. Kork, Rasierklinge, Mikroskop oder Binokular, Objektträger

Von den zu untersuchenden Materialien werden mit der Rasierklinge dünne Schnitte angefertigt. Sie werden auf einen Objektträger gelegt und bei kleiner bis mittlerer Vergrößerung mit dem Mikroskop betrachtet und abgezeichnet.

Bei ca. 40-facher sind die „Zellen“ der Verpackungsmaterialien gut erkennbar. Man sieht, dass die Wände große Luftvolumina einschließen. Diese Gaspolster federn Stöße ab und isolieren thermisch.

2 D Folie aus Stärke

Material: Lösliche Stärke, Kartoffelstärke (Kartoffelmehl), destilliertes Wasser, 50 %ige Glycerinlösung, Becherglas bzw. Rund- oder Erlenmeyerkolben, Heizrührer, Rührfloh, Thermometer, Plexiglasplatte (Ø ca. 30 cm bzw. DIN A4), Trockenschrank

5 g lösliche Stärke, 2,5 g Kartoffelmehl, 10 ml 50 %ige Glycerinlösung und 70 ml destilliertes Wasser werden vermischt und in einem Kolben bzw. Becherglas unter Rühren etwa 15 Minuten zum Sieden erhitzt. Die entstehende homogene Lösung wird vorsichtig auf die bereitgelegte Plexiglasplatte gegossen. Durch Schwenken der Platte erhält man eine 1 bis 2 mm dicke (tortengussartige) Masse. Über Nacht trocknet und schrumpft die Masse bei Raumtemperatur. Zum schnellen Trocknen (1½ h) legt man die Platte mit der ausgegossenen Masse bei 105 °C in den Trockenschrank. Die entstandene Folie kann vorsichtig abgezogen werden.

Die Folie kann mit Lebensmittelfarben angefärbt werden. Sie ist essbar.

2 E Formteile aus Stärkeschaum

Material: Kartoffelstärke, NaHCO_3 als Backtriebmittel, Natriumalginat oder Guarkernmehl als Emulgiermittel, 2 Bechergläser, Spatel oder Löffel, Glasstab, Waffeleisen

Aus 70 g Kartoffelstärke, 3 g NaHCO_3 und 1 g Natriumalginat oder Guarkernmehl wird im kleineren der beiden Bechergläser eine Mischung hergestellt. Diese Mischung lässt man langsam unter ständi-

gem Rühren in das große Becherglas laufen, in das zuvor bereits 80 ml Wasser gegeben worden sind. Die gebildete Masse wird in 4 Portionen dünn in einem Waffeleisen verteilt. Die Zacken des Waffeleisens sollen nicht bedeckt sein. Backzeit: 4½ Minuten.

Bei diesem Versuch entsteht ein fester Stärkeschaum, wie er u.a. als Behältnis für Fast-Food-Produkte verwendet wird.

2 F Verrottungsversuche

Material: Popcorns, je zwei Streifen verschiedener Materialien (z.B. Papier, Zellophan, Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol, Materialien auf Stärkebasis), Komposterde (ohne Regenwürmer), Pipette, Pinzette, Lupe, Petrischalen mit Deckeln (entsprechend der Anzahl der zu untersuchenden Materialien), Wasser

Die Petrischalen werden mit einer bodenbedeckenden Schicht Kompost gefüllt und so lange vorsichtig mit Wasser beträufelt, bis die Oberfläche zu glänzen beginnt. Die Probestreifen bzw. -stücke der Testmaterialien werden überkreuz aufgelegt (jeweils eine Materialsorte in eine Petrischale). Sie sollen gerade vollständig durchfeuchtet sein. Die Petrischalen werden mit dem zugehörigen Deckel verschlossen und beschriftet (Datum, Material). Die rundherum mit Klebefilm zugeklebten Schalen bleiben einige Tage an einem warmen Ort stehen. Die Veränderungen lassen sich leicht beobachten.

2 G Herstellung von Stärkekleber

Material: Dreifuß mit Drahtnetz, Bunsenbrenner, Becherglas, Glasstab, Edelstahlöffel, Kartoffelstärke, Wasser

Zu 50 ml Wasser im Becherglas werden unter Rühren ca. 10 g Kartoffelstärke nach und nach hinzugefügt, bis sich eine leicht dickflüssige Masse ergibt. Der Brenner wird entzündet und die Masse ca. 1 Minute

aufgekocht. Ist der entstandene Kleber zu zäh, kann er mit Wasser verdünnt werden.

Mit dem Stärkekleister können Klebeversuche durchgeführt werden, z.B. Pappe auf Pappe, Papier auf Pappe oder Holz, Holz auf Holz usw.

Stärkekleister ist einer der klassischen Leime. Als Grundstoffe werden Stärke, Getreidemehl (das vorwiegend aus Stärke besteht) und Celluloseverbindungen benutzt. Zum Tapetenkleben verwendet man z.B. einen Kleister aus Methylcellulose. Die Kleisterbildung setzt in der Wärme ohne Hilfsmittel ein (Stärkekleister bei 80 °C). Durch Zusatz von Säuren wird die Klebefähigkeit vermindert, Laugenzusatz erhöht die Festigkeit der Verbindungen.

Gruppe 3: Pflanzenöle und Fette als nachwachsende Rohstoffe

Pflanzenöle und -fette besitzen als nachwachsende Rohstoffe eine ähnliche Bedeutung wie die Stärke. Sie sind sowohl für den Bereich der stofflichen Produktion interessant wie auch als Energielieferanten. Der letztere Aspekt wird hier jedoch nicht experimentell erschlossen. Kaum für die Schule zugänglich ist auch die Produktion von Alkylpolyglycosiden (APG); die APG werden aus Pflanzenölen (Palmkernöl) einerseits und zum anderen aus Zucker bzw. Stärke hergestellt und gelten als zukunftssträchtige Alternative zu den synthetischen Tensiden mit breitem Anwendungsbereich und sehr guter Umweltverträglichkeit. Für ihre unterrichtliche Behandlung stehen aber geeignete Medien zur Verfügung (siehe Literatur).

3 A Gewinnung von Öl aus Früchten/Samen von Ölpflanzen

Material: 2 quadratische Eisenblechstücke (10 · 10 · 0,5 cm), Fliegendraht, Uhrglas, Schraubstock, Samen (z.B. Sonnenblumenkerne)

Aus zugeschnittenem Fliegendraht wird eine Tasche (10 · 10 cm) geformt, deren eines Ende offen bleibt. Die übrigen Kanten können mit einem Papiertucker zusammengeheftet werden. In die Tasche wird ein Löffel ölhaltige Samen gefüllt, z.B. Sonnenblumenkerne, die Tasche wird zwischen die Bleche gebracht und die drei zusammengeführten Teile zwischen die Backen eines Schraubstocks geklemmt. Durch Anziehen der Spindel werden die Samen zerquetscht, das Öl läuft in das daruntergestellte Uhrglas.

Technisch werden Ölf Früchte in großen Pressen aufgearbeitet. Nach dem kaltgepressten ersten Öl werden oft weitere Anteile in der Hitze oder durch Einsatz von Lösungsmitteln gewonnen.

3 B Herstellung einer Ölfarbe

Material: Porzellanschale o.ä. flaches Gefäß, Glasstab oder Löffel, Leinölfirnis, Farbpigmente

In einem flachen Gefäß werden Leinölfirnis und fein geriebene Farbpigmente zu einem festen Brei durchgearbeitet. Die fertige Ölfarbe kann mit Terpentinöl (Destillat aus Kiefernharz) verdünnt werden. Als Pigmente eignen sich Erdfarben wie Umbra, Siena, Ocker oder Englischrot oder Minerale wie Ultramarin, Eisenoxid oder Chromoxidgrün.

Leinölfirnis enthält im Unterschied zum reinen Leinöl Sikkative, das sind Trocknungsbeschleuniger, die die Vernetzung der Ölbestandteile unterstützen. Besonders wirksam sind geringste Mengen Schwermetallsalze, z.B. Salze des Kobalts, Eisens oder Mangans. Um der Farbe mehr Körper zu geben, werden neben Farbpigmenten oft Weißpigmente eingesetzt, z.B. geriebener Kalk (Kreide) oder Titandioxid.

3 C Herstellung einer Anstrichfarbe auf Quarkbasis

Material: Rührschüssel oder Kochtopf (mindestens 2 Liter), Kochlöffel, Löffel, leere Marmeladengläser, 250 g Quark, geriebener Kalk, Borax, Farbpigmente in Pulverform (z.B. Siena, Umbra, Ultramarin, Kreide)

In der Rührschüssel wird der Quark mit Borax und Kreide verrührt, bis sich eine gleichmäßige Creme ("Caseincreme") gebildet hat. Diese Masse wird auf mehrere leere Marmeladengläser verteilt. Je nachdem, welche Pigmente zugefügt werden, erhält man verschiedene streichfertige Farben, die mit etwas Wasser verdünnt werden können.

Will man den Produktionsprozess von Anfang an darstellen, so kann die Quarkherstellung aus Milch vorangestellt werden. Dazu wird 1 Liter Milch in eine Schüssel gegeben und mit etwas Lab (aus der Drogerie) versetzt. Nach mehrtägigem Stehenlassen setzt der Käsungsprozess ein, die dünnflüssige Molke trennt sich vom Quark. Die überstehende Molke wird abgossen und die halb feste Masse auf ein Geschirrtuch gegeben. Die Enden des Tuches werden zusammengedreht und der Quark über einer Schüssel so trocken wie möglich ausgepresst. Er kann jetzt zur Farbenherstellung weiterverwendet werden.

3 D Herstellung von Temperafarben

Beständige Farben erhält man, wenn man die fertige Caseinfarbe mit etwas Leinöl versetzt. Die Farbe hat jetzt ganz ähnliche Eigenschaften wie käufliche Plakafarbe. Damit können Anstrich- und Haltbarkeitstests gemacht werden, am besten durch Auftreichen auf kleine Holzbrettchen.

3 E Herstellung von Seife aus einem Pflanzenöl

Material: Ölsäure oder Pflanzenfett (wie Palmin), Natriumcarbonat, Becherglas, Glasstab, Wärmequelle

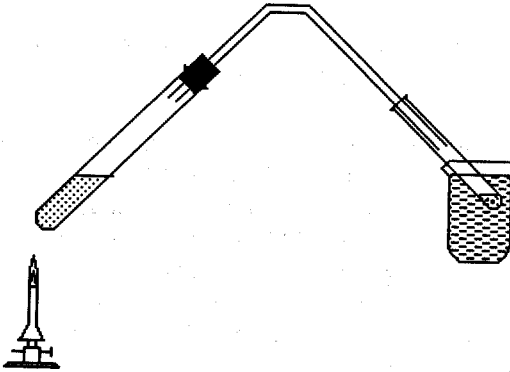
Aus pflanzlichen Ölen kann ebenso wie aus tierischen Fetten durch Verseifung mit Laugen Seife hergestellt werden. Hierzu mischt man z.B. 20 ml Ölsäure mit 50 ml 10-%iger Natriumcarbonatlösung und gibt zum besseren Kontakt der Phasen etwas Ethanol dazu. Die Mischung wird unter Rühren auf dem Heiz-Rühr-Gerät erwärmt. Mit der Reaktionsmischung, die einen hohen Anteil an Seifen (Natriumsalze der Fettsäuren) enthält, kann nach dem Abkühlen eine Schaumprobe durchgeführt werden. Dazu gibt man Wasser hinzu und schüttelt kräftig. Weitere mögliche Versuche sind die Demonstration von Schaumbildung und Waschwirkung und die Verminderung der Oberflächenspannung durch die hergestellte Seife.

Bei der Verseifung werden die Fettsäure-Glyzerin-Bindung (Ester) gespalten, und die freigesetzten Fettsäuren bilden mit der Lauge Salze. Diese Salze der Fettsäuren (= Seifen) schäumen im Wasser und wirken als Tenside.

Aus Zucker und Palmkernöl bzw. Kokosöl werden industriell Alkylpolyglycoside (Plantaren®) hergestellt. Schulversuche hierzu finden sich bei Wagner (1997).

3 G Gewinnung eines Lösungsmittels aus Orangenschalen

Material: Großes Reagenzglas, durchbohrter Stopfen, gewinkeltes Glasrohr, kleines Reagenzglas (als Vorlage), Gefäß für kaltes Wasser zum Kühlen der Vorlage, Bunsenbrenner, Orangenschalen (ggf. Mandarinen-, Zitronenschalen)



15 g sehr fein zerkleinerte Orangenschalen und 10 ml Wasser werden in das große Reagenzglas gegeben und dieses mit Stopfen und eingestecktem Glasrohr verschlossen. Das Glas wird schräg an einem Stativ eingespannt und am unteren Ende mit dem Bunsenbrenner erwärmt. Das freie Ende des Rohrs mündet in das als Vorlage benutzte zweite Reagenzglas, das mit kaltem Wasser gekühlt werden kann. Die Destillation wird abgebrochen, wenn die Vorlage zu etwa 2/5 gefüllt ist. Beim Stehenlassen trennen sich die Phasen, obenauf schwimmt etwas Öl, das weiter untersucht werden kann.

Ein Ölfleck auf einem Stück Filterpapier verschwindet, da Orangenöl ein flüchtiges (etherisches) Öl ist. Wenn man zum Destillat ein Körnchen eines festen Farbstoffs gibt, der sich in Wasser nicht, wohl aber in organischen Lösungsmitteln löst, dann wird die Ölschicht angefärbt. Als Farbstoff eignet sich z.B. Sudanrot. Es kann auch versucht werden, das Orangenöl als Lösungsmittel für Fett (z.B. Palmin) zu verwenden oder ein Stückchen Teer anzulösen.

Orangenschalen enthalten bis zu 2 % etherische Öle. Technisch gewinnt man Citrusöle bei der Herstellung von Orangensaftkonzentrat. Die Früchte werden zerkleinert, das Öl schwimmt obenauf. Hauptbestandteil ist das Limonen, das zu den Terpenen gehört.

 **Literatur**

Allgemeines

- ◆ Andersen, A., Spelsberg, G. (Hrsg.): Das Blaue Wunder. Zur Geschichte der synthetischen Farben. Köln 1990
- ◆ Centrale Marketing Gesellschaft der deutschen Agrarwissenschaften (CMA): Nachwachsende Rohstoffe. Bonn o.J.
- ◆ Eggersdorfer, M., Warwel, S., Wulff, G. (Hrsg.): Nachwachsende Rohstoffe. Perspektiven für die Chemie. Weinheim 1993
- ◆ Eierdanz, H. (Hrsg.): Perspektiven nachwachsender Rohstoffe in der Chemie. Weinheim 1996
- ◆ Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Verantwortung für die Zukunft. Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bonn 1993
- ◆ Fischer, H.: Pläoyer für eine Sanfte Chemie. Über den nachhaltigen Gebrauch der Stoffe. Karlsruhe 1993
- ◆ Griebhammer, R., Hey, C., Hennicke, P., Kalberlah, F.: Ozonloch und Treibhauseffekt. Reinbek 1989
- ◆ IZE (Hrsg.): StromBasiswissen Nr. 113: Biomasse - Energie, die wächst. Frankfurt/M. 1995 (Broschüre, kostenlos bei: IZE, PF 700561, 60555 Frankfurt/M.)
- ◆ Klima in Gefahr. In: FWU Magazin Nr.3-4/1993
- ◆ Nachwachsende Rohstoffe in Energiewirtschaft und Chemie. In: Spektrum der Wissenschaft H. 6/1994, S. 96 - 114

- ◆ Oels, H.-J., Schmitz, S. (Umweltbundesamt): Ökobilanzen für Verpackungen. Berlin 1993
- ◆ Sanfte Chemie. In: Wechselwirkung 13. Jg., Nr. 48, April 1991
- ◆ Westermann, K.: Verpackung aus nachwachsenden Rohstoffen. Würzburg 1994

Materialien und Konzepte für den Unterricht

- ◆ Bader, H.-J.: Nachwachsende Rohstoffe. In: Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie, 37. Jg., H. 47/1989, S. 4 - 7
- ◆ Bauer, H. F., Scherbaum, M., Bader, H. J.: Industriepflanzenanbau - Nachwachsende Rohstoffe. Ein Vorschlag zur Behandlung des Themas „Pflanzenöle“ im Chemieunterricht der Hauptschule. In: Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie, 37. Jg., H. 47/1989, S. 19 - 27
- ◆ Blume, R., Sommerfeld, H.: Abbaubare Folien auf Stärkebasis. In: Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 44. Jg., H. 2/1991, S. 93 - 96
- ◆ Bockey, D., Jantzen, W.: Biodiesel aus Raps. In: Unterricht Biologie H. 215 (1996), S. 38 - 42
- ◆ Brinkmann, H.: Einfache Schulversuche zum Thema „Treibstoffe“. In: Praxis der Naturwissenschaften - Chemie, 40. Jg., H. 3/1991, S. 24 - 32
- ◆ Büttner, M., Wagner, G.: Zuckertenside - ein faszinierendes Thema für den Chemieunterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie, 8. Jg., H. 39/1997, S. 46 - 50
- ◆ Demuth, R. (Hrsg.): Themenheft Nachwachsende Rohstoffe der Zeitschrift Praxis der Naturwissenschaften - Chemie, 45. Jg., H. 6/1996

- ◆ Hesse, M.: Nachwachsende Rohstoffe aus dem Industriepflanzenanbau. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie, 36. Jg., H. 8/1987, S. 34 - 42
- ◆ Hessisches Kultusministerium: Rahmenplan Naturwissenschaften Sekundarstufe I. Wiesbaden 1996
- ◆ Probst, W. (Hrsg.): Neue Kulturpflanzen. Unterricht Biologie H. 206 (1995)
- ◆ Rode, P., Fellner, E.: Hecheln und Spinnen - Flachs. Eine Handreichung des Modellversuchs SchUB. Berlin 1995
- ◆ Schenk, L.: Kohlenhydrate - Mono- und Disaccharide. In: RAAbits Chemie, I L2.1, Heidelberg 1995
- ◆ Schenk, L.: Kohlenhydrate - Stärke und Cellulose. In: RAAbits Chemie, I L2.2, Heidelberg 1995
- ◆ Stäudel, L.: Nachwachsende Rohstoffe - nachhaltige Bildung. In: FWU-Magazin, 7. Jg., H. 4/1995, S. 30 - 35
- ◆ Stäudel, L., Sauer, D.: Nachwachsende Rohstoffe. In: RAAbits Chemie, Grundwerk, III A, Heidelberg 1994
- ◆ Stäudel, L., Sauer, D.: Rollenspiel zum Thema Verpackungsmaterialien auf Stärkebasis. In: RAAbits Chemie, 2. Ergänzungslieferung, IV/A 1,2, Heidelberg 1995
- ◆ Stäudel, L., Mander, K., Rudolph, M.: Das Leinöl-Projekt - fächerübergreifender Unterricht für die Mittel- und Oberstufe. In: Praxis der Naturwissenschaften - Chemie, 44. Jg., H. 6/1995, S. 8 - 12
- ◆ Stäudel, L.: Fossile und nachwachsende Rohstoffe. Handreichung zum Rahmenplan Naturwissenschaften. Wiesbaden 1997

- ◆ Stichmann, W. (Hrsg.): Naturmaterialien aus fremden Ländern. Unterricht Biologie H. 159 (1990)
- ◆ Themenheft Projektorientierter Chemieunterricht der Zeitschrift Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie, 1. Jg., H. 2/1991
- ◆ Wagner, G.: Studienbuch Waschmittel - Chemie und Ökologie. Stuttgart 1997

Medien

- ◆ Nachwachsende Rohstoffe (1995) 15 min, FWU, 32 10332 (Film); 42 10332 (VHS)
- ◆ Nachwachsende Rohstoffe (1995) 12 Farbdias, FWU, 10 03219
- ◆ Der Treibhauseffekt (1994), 14 min, FWU, 32 10255 (Film)
- ◆ Weg vom Öl - Beispiele aus der Landwirtschaft (1984) 15 min, FWU, 42 00507 (VHS)
- ◆ Das Leinölprojekt (1994), 12 min, AURO (VHS; Bezug: AURO, braunschweig. Preis: 20 DM)
- ◆ Öl von der Sonne (o.J.), 15 min, Fa. Henkel, (VHS; Bezug: Henkel Düsseldorf)
- ◆ In Unschuld Waschen, ca. 30 min, Matthias Film, (VHS; Landesbildstellen, Evangelischer Mediendienst Kassel)
- ◆ Die Sendung mit der Maus: Farben aus Quark und Erde, 12 min, WDR (VHS)

Armin Kremer, Dieter Kasper

Bau eines Solarkatamarans

- Ein fächerübergreifendes Projekt im Bereich Polytechnik/Physik -

1. Projektidee

Von 1989 bis 1992 wurde an der Richtsberg-Gesamtschule in Marburg das Schulmodellprojekt "Ökologisch-soziales Lernen im Lernortnetz" durchgeführt, das von der Robert-Bosch-Stiftung im Rahmen ihres Förderprogramms "Praktisches Lernen" finanziell gefördert wurde.

Dieses Schulmodellprojekt umfasste zum einen den Umbau eines alten, leerstehenden Forsthauses, ca. 12 km von Marburg entfernt, zu einem Jugendwaldheim, das den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu "ökologisch-sozialem Lernen" im außerschulischen Kontext bietet. Zum anderen und damit einhergehend sollte in den Jahrgangsstufen 5/6, 7/8 und 9/10 der Richtsberg-Gesamtschule "ökologisch-soziales Lernen" als Unterrichtsprinzip curricular entwickelt und verankert werden, sei es im Fachunterricht, in fächerübergreifenden Unterrichtsvorhaben, in Projekten (Projekttagen und -wochen) oder im Rahmen von Klassenfahrten.

Angeregt durch dieses Programm, entschlossen wir uns, im Rahmen des Wahlpflichtbereichs II im 9./10. Schuljahr (im Fachbereich Polytechnik) das Projekt "Zapfen wir die Sonne an - Strom aus Sonnenlicht" anzubieten, in dem sich Schülerinnen und Schüler an einem Beispiel mit dem Thema alternative Energienutzung befassen sollten.

Da für das Projekt ein Schuljahr mit zwei Wochenstunden zur Verfügung stand, stellte sich die Frage, wie die Schülerinnen und Schüler über einen solch langen Zeitraum für dieses Thema zu motivieren seien.

Dies konnte am ehesten gelingen, wenn das Projekt handlungs- und problemorientiert angelegt sein würde: Lern- und Arbeitsergebnisse im handlungsorientierten Unterricht erfordern nämlich die gemeinsame und die individuelle Besinnung, den Rückbezug auf das Problem und den persönlichen Zugang zu ihm. Die Unterrichtsinhalte werden daher nicht nur vom Problem selbst bestimmt; sie werden auch mit Blick auf ein zu vereinbarendes Handlungsprodukt ausgewählt.

Da Dieter Kasper als Sportlehrer stets gute Erfahrungen mit schulischem Freizeitsport gemacht hat und zudem begeisterter "Alt-Freizeitpaddler" ist, entschlossen wir uns, einen Kajak mit einem Außenbordmotor auszustatten, der mit Solarstrom betrieben wird und von der Schule im Freizeitsport genutzt werden kann. Aus Stabilitäts- und letztlich auch aus Sicherheitsgründen wählten wir das Kata-maranmodell.

2. Projektplanung und Projektdurchführung

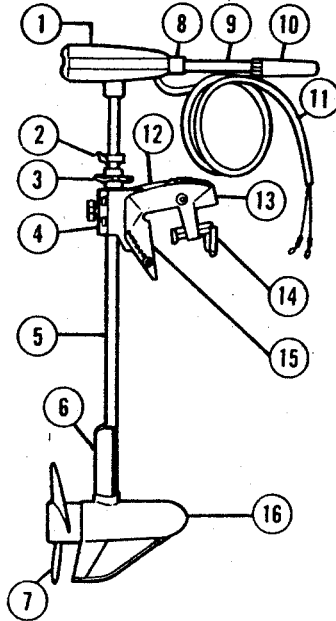
Für das Projekt entschieden sich 12 Schüler, aber keine Schülerin. Die Schülergruppe setzte sich zusammen aus 8 Real-/Gymnasialschülern und 4 Hauptschülern. Im Unterschied zu den sehr motivierten Real- und Gymnasialschülern waren die Hauptschüler kaum bzw. gar nicht motiviert. Sie hatten sich für keines der angebotenen Projekte im Wahlpflichtbereich II interessiert und wurden deshalb von der Stufenleiterin dem Projekt zugewiesen - eine rein organisatorisch-verwaltungstechnische Entscheidung. Während des gesamten Projekts gelang es uns so gut wie nicht, die Hauptschüler für das Thema zu interessieren, sie zu eigenen Arbeitsvorhaben zu motivieren und damit als Gruppe zu integrieren.

Nachdem wir vom Marburger Kanuverein zwei reparaturbedürftige und deshalb ausrangierte Kajaks kostengünstig erworben hatten, ließen wir uns von einer ortsansässigen Firma für Solartechnik beim Kauf von Elektroaußenbordmotor, Akkumulator, Regler und Solarmodul sowie von Fachliteratur für unser Vorhaben beraten.

Elektroaußenbordmotor, Thruster T33, 12V mit stufenloser PWM Drehzahlregelung, 15kp Schub an der Welle, ma. 39A Stromaufnahme (1350,00 DM)

TM Model

1. Control Housing
2. Height Adjustment Clamp
3. Steering Friction Knob
4. Swivel Bracket Door
5. Vertical Shaft
6. Wire Holder
7. Propeller
8. Twist Grip Friction Collar
9. Telescoping Tiller Handle
10. Twist Grip Speed Control
11. Battery Leads
12. Tilt Latch Release
13. Tilt Lock Handle
14. Clamp Screws
15. Clamp Brackets
16. Motor



Akku Solar 12V/110Ah, trocken vorgeladen, Säuredichte des Elektrolyten 1,26 kg/L (259,00 DM)

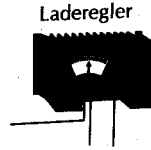
In Solarstromanlagen werden Akkus benötigt, die den Strom, der am Tage erzeugt wird, speichern. In der Nacht oder in Schlechtwetterperioden wird der Akku dann durch die angeschlossenen Verbrauchsgeräte entladen und bei Sonnenschein wieder aufgeladen. Dadurch ist ein Solarakku einer wesentlich stärkeren Belastung ausgesetzt als z.B. der Starterakku in einem Auto.

Typ:	12/110
Bauart:	Blockbatterie
Nennspannung:	12 V
Nennkapazität:	110 Ah 130 Ah
Abmessungen (LxBxH):	260x170x190 mm
Gewicht (trocken):	15,8 kg
Gewicht (betriebsbereit):	20,8 kg
Elektrolyt:	verdünnte Schwefelsäure
Elektrolytdichte:	1,26 kg/Liter
zulässiger Ladestrom:	45 A
Innenwiderstand:	6 m Ohm
Kurzschlussstrom:	2000 A
Ah-Ladefaktor:	1.15
Temperaturbereich:	-10C° bis +50C° (empfohlen 20°C)

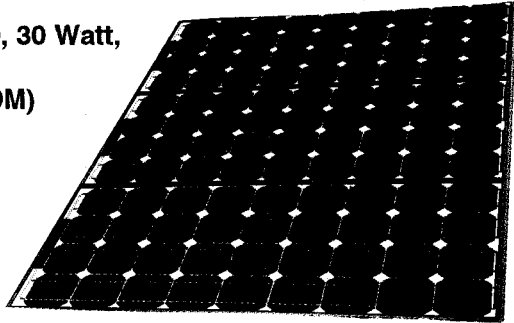


Laderegler Solarix (84,60 DM)

Solar Laderegler übernehmen in Photovoltaikanlagen die Aufgabe des Überlade- und des Tiefentladeschutzes des Akkus.



**Modul Solarex MSX-30, 30 Watt,
616x495x9 mm, 1.8 kg,
polykristallin (619,00 DM)**



Folgende Arbeitsthemen und Arbeitsphasen wurden mit den Schülern vereinbart:

1. "Die Bedeutung von Solarenergie heute und morgen"
2. "Wie funktioniert eine Solarzelle?"
3. "Welche Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik gibt es? Beispiele aus der Praxis"
4. "Bau eines Solarkatamarans"

Die ersten drei Arbeitsphasen wurden fächerübergreifend durchgeführt (Kasper: Polytechnik, Kremer: Physik). Bis auf einige wenige fächerübergreifende Anteile, war die 4. Phase "Bau eines Solarkatamarans," eine rein polytechnische Angelegenheit.

ad 1:

"Die Bedeutung von Solarenergie heute und morgen" erarbeiteten sich die Schüler auf der Grundlage von Fachliteratur, die wir ihnen zur Verfügung stellten und die sie z.T. selbst zusammengetragen hatten. Nachdem die Schüler die Literatur gelesen und wir ihre Fragen besprochen hatten, erstellten sie in Hausarbeit Referate, die vorgetragen und diskutiert wurden. Die Themen der Referate lauteten:

- "Energieverbrauch zwischen Mangel und Verschwendung"
- "Ungleichgewicht zwischen Energieverbrauch und -gewinnung"
- "Der verlustreiche Weg der Energie"
- "Alternative Energiequellen: Wasser, Wind und Sonne".

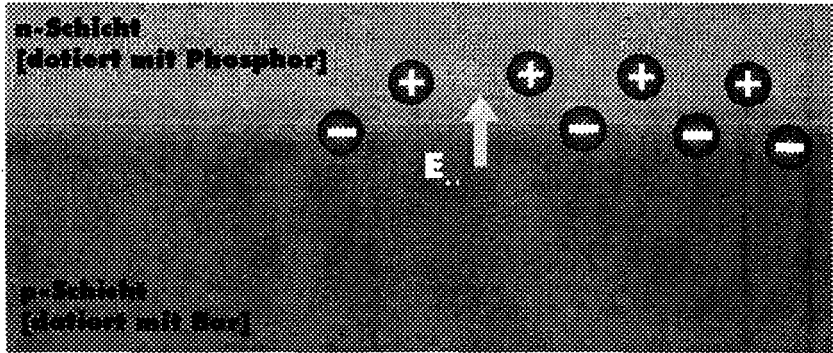
ad 2:

"Wie funktioniert eine Solarzelle?"

Zum Verständnis der Funktionsweise einer Solarzelle erschien es uns sinnvoll, Grundkenntnisse über elektrische Größen, ihre Formelzeichen sowie die Maßeinheiten den Schülern kurz in Erinnerung zu rufen (Ladung, Strom [Wechselstrom, Gleichstrom], Spannung, Widerstand, Energie, Arbeit und Leistung). Daran schloss sich die Illustration und Kommentierung der Funktionsweise einer Solarzelle an.

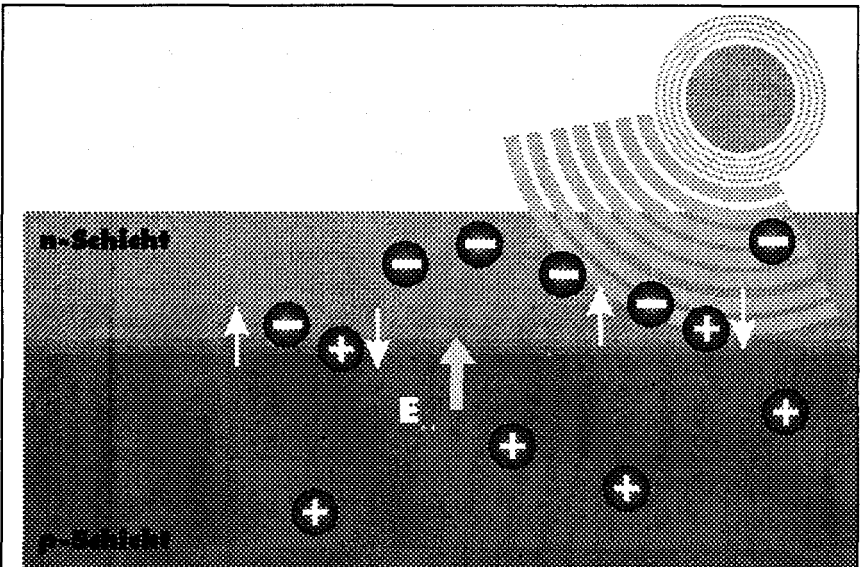
Die klassische Solarzelle besteht aus kristallinem Silizium, das durch gezielte Verunreinigung mit Fremdatomen interessante elektrische Eigenschaften entwickelt. Werden der einen Seite der flachen Siliziumscheibe (wafer) Phosphoratom zugefügt, so entstehen frei bewegliche negative Ladungsträger (Elektronen). Der Grund dafür ist die genau festgelegte Anzahl von Bindungen zwischen einem Siliziumatom und seinen Nachbaratomen. Das fünfwertige Phosphor besitzt dafür einfach ein Elektron zu viel. Dieses für die Einbindung in den Kristall nicht benötigte Elektron bewegt sich ungezwungen in der Siliziumscheibe - es sei denn, es trifft auf sein Gegenstück, ein Atom mit einem Elektron zu wenig. Das dreiwertige Bor, in die Gegenseite der Si-

liziemscheibe eingebracht, besitzt diese Eigenschaft. Es verfügt über die entsprechende Lochstelle, um das freie Elektron wieder einzufangen. Dieses "Katz- und Mausspiel" bleibt nach außen ohne Wirkung, die Solarzelle verhält sich elektrisch neutral. Im Innern jedoch, in der Grenzschicht zwischen den unterschiedlich verunreinigten (dotierten) Siliziumfeldern entsteht ein elektrisches Feld, die Raumladungszone.



Aufgrund der unterschiedlichen Beimengung von Fremdatomen in die Ober- und Unterseite einer Siliziumscheibe entsteht im Inneren ein elektrisches Feld. Nach außen verhält sich die Zelle elektrisch neutral.

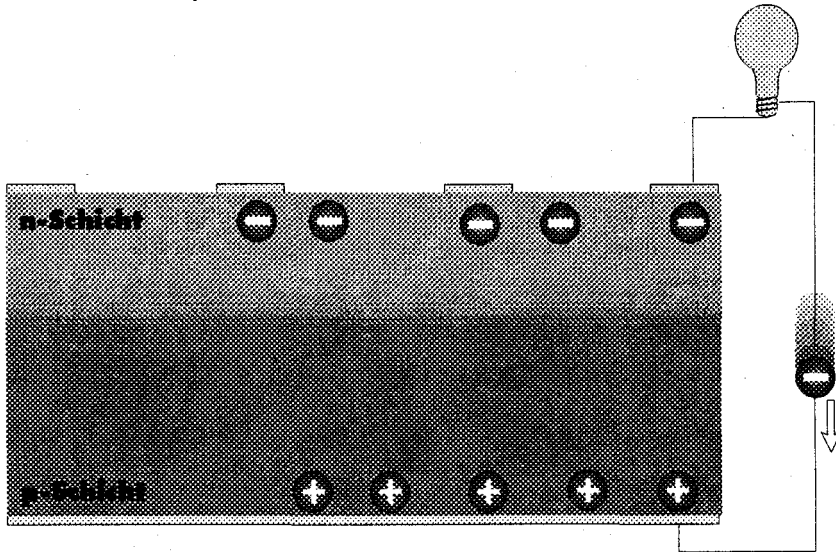
Eine Solarzelle liegt in der Sonne. Die Energieträger der Lichtstrahlen, die Photonen, dringen in die Zelle ein und verlieren an Kraft. Ein Teil der Bewegungsenergie wandelt sich in Wärme um, einem anderen Teil der Photonen gelingt es, Elektronen aus ihrem festen Verband zu schlagen.



Bei Lichteinwirkung werden Elektronen aus Ihren Bindungen geschlagen und über das innere elektrische Feld hin zur Oberseite beschleunigt. Auf der Unterseite sammeln sich positiv geladene Lochstellen. Zwischen beiden Seiten baut sich eine Spannung auf.

Diese Elektronen wandern (diffundieren) durch das Kristallgefüge der Siliziumscheibe und finden mit etwas Glück eine unbesetzte Stelle, sie rekombinieren. Geraten aber die vom Licht freigesetzten Elektronen in den Bereich des inneren elektrischen Feldes, werden sie gezwungen, sich in Richtung N-Leiter zu bewegen. Das negativ geladene Elektron strebt zur positiv geladenen Zone des N-Leiters. Die Zone zwischen N- und P-Leiter, die Raumladungszone, wirkt als Barriere für die sich an der Oberseite der Solarzelle ansammelnden Elektronen. Im Gegenzug lädt sich die Unterseite der Zelle positiv auf, es fehlt an Elektronen, die entsprechende Lochstellen besetzen könnten. Die Spannung, die sich auf diese Weise aufbaut, beträgt bei einer Siliziumzelle etwa 0,6 Volt. Es bleibt den Elektronen nur eine Chance, auf die gegenüberliegende Seite der Zelle zu gelangen.

Eine fertige Solarzelle besitzt auf der Oberseite und Unterseite Metallkontakte. Werden diese elektrisch verbunden, können die überschüssigen Elektronen der einen Seite zurückfließen zur Unterseite und dort die entsprechenden Lochstellen neu besetzen.



Über beidseitige Metallkontakte gelangen die überschüssigen Elektronen zurück zu den unbesetzten Lochstellen. Dabei können sie einen elektrischen Verbraucher antreiben.

Dieser Prozess hält solange an wie Licht auf die Zelle trifft. Die Elektronenmenge, die elektrische Stromstärke, ist proportional zur Einstrahlungsintensität und Zellenfläche. So liefert eine $10 \times 10 \text{ cm}^2$ große Zelle bei einer Einstrahlung direkten Sonnenlichtes (ca. 900 Watt pro m^2) etwa 3 A . Dieser Strom sollte natürlich genutzt werden. Schalte ich eine Glühlampe in die Verbindung zwischen beiden Zellenseiten, so wird die elektrische Energie wiederum in Licht umgewandelt.

Der Vollständigkeit halber sei noch die Antireflexionsschicht genannt, die auf der Oberseite der Zelle angebracht ist. Sie verhindert die Abstrahlung eines Großteils des auftreffenden Lichtes und verleiht dem ursprünglich grauen Silizium die für Solarzellen typische blaue bis schwarze Farbe.

ad 3:

"Welche Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik gibt es? Beispiele aus der Praxis"

Über Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik waren die meisten Schüler recht gut informiert.

Folgende Beispiele wurden besprochen:

- Elektrofahrzeuge und Solartankstelle
- Solarmodulanlagen auf Dächern und an Fassaden zur Nutzung von Solarstrom oder Einspeisung von Solarstrom in das Netz der Stadtwerke
- Solare Stromversorgung von Segel- und Motorbooten, Wohnmobilen und Campingfahrzeugen
- Solarmodule liefern Solarstrom zum Betrieb von Parkscheinautomaten
- Kombination von Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen für Wärme und Strom.

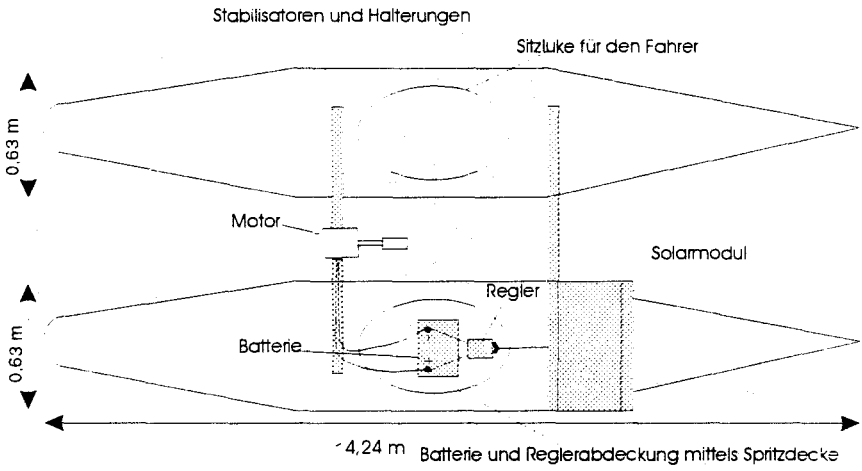
Am Ende dieser Arbeitsphasen besichtigten wir die Kollektoranlage des Marburger Freibades.

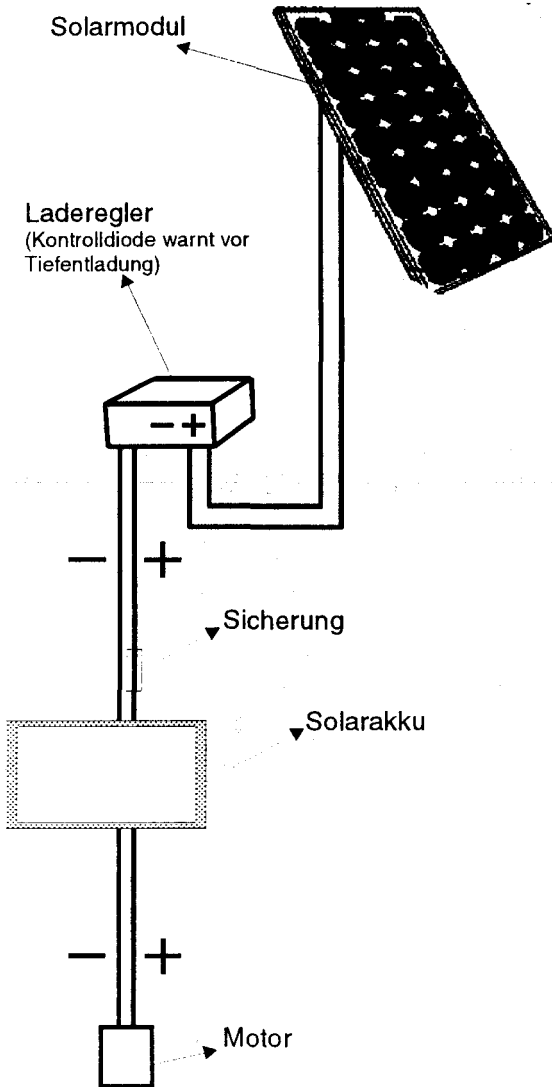
ad 4:

"Bau eines Solarkatamarans"

Zunächst wurden von den Schülern entworfene Konstruktionsvorschläge gesammelt, diskutiert und ausgewertet. Dabei galt es zu beachten: Stabilität der beiden Boote, Konstruktion der Halterung für das Solarmodul und den Elektroaußenbordmotor, Montage des Akkumulators und Sitzmöglichkeit.

Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Arbeitsmaterialien, Arbeitsgeräte und Maschinen erfolgte die Auswahl der realisierbaren Konstruktionsvorschläge. Anschließend wurde von den Schülern eine maßstabsgerechte Konstruktionszeichnung angefertigt.





Die weiteren Arbeitsschritte sind arbeitsteilig in Gruppen nach Schülerneigung und -qualifikation durchgeführt worden:

- Löcher, Risse und Bruchstellen in den Bootskörpern wurden mit Kunstharzmaterial abgedichtet und beschliffen
- Die Bootsstabilisatoren und Halterungen wurden angefertigt und montiert
- Die beiden Bootskörper sowie der Stabilisatoren und Halterungen wurden lackiert.
- Die Antriebs-, Energie- und Steuerungsteile (Elektroaußenbordmotor, Akkumulator, Regler und Solarmodul) wurden montiert sowie angeschlossen und erste Probefahrten auf der Lahn unternommen.

Nachdem noch einige Nachbesserungen an den Bootskörpern durchgeführt

und etliche Schrauben an Halterungen nachgezogen worden waren, machten alle Schüler Fahrten mit dem Solarkatamaran. Diese Fahrten bildeten den Höhepunkt des Projekts.

Abschließend erstellten die Schüler eine Projektpräsentation. Im Foyer der Schule wurde eine Wandzeitung angebracht, auf der das Projekt in seinen Arbeitsphasen dokumentiert wurde. Zusammengestellt wurden Sachinformationen aus Fachliteratur und Texte aus den Schülerreferaten, verworfene und gelungene Konstruktionszeichnungen, Berichte über einzelne Arbeitsschritte und Fotos von den Fahrten mit dem Solarkatamaran auf der Lahn.

3. Reflexion

Schon bei der Vorstellung des Projektthemas wurde uns deutlich, die Schüler wollten:

- mit einem Solarkatamaran auf der Lahn fahren,
- dazu die zur Verfügung gestellten Boote reparieren und zu einem Katamaran zusammenbauen und
- die Antriebs-, Energie- und Steuerteile zu einer funktionsfähigen Anlage montieren.

Die Schüler wollten weniger:

- eine isolierte Einführung in die Physik der Photovoltaik
- eine trockene Einführung in Aufbau und Funktion des Elektroaußenbordmotors, Akkumulators und Reglers.

Wir hielten es aufgrund unserer langjährigen Unterrichtserfahrung für pädagogisch legitim, ja immer wieder für notwendig, dass wir in methodisch angemessener, nicht-autoritativer oder gar manipulativer Form, wohl aber *anregend, überzeugend*, Schülerinnen und Schüler für Fragestellungen und Problemzusammenhänge zu gewinnen versuchen, auch wenn sie auf solche Fragen und Probleme zum gegebenen Zeitpunkt nicht gleich "darauf anspringen". Insofern entschlossen wir uns zu der Behandlung der Frage "Wie funktioniert eine Solarzelle" und stellten fest, dass einige Schüler auch durchaus Interesse entwickelten und engagiert mitarbeiteten. Indes war zu spüren, dass das Interesse nicht mehr ausreichte, sich mit dem Aufbau und den elektrischen Kennlinien zur Bewertung von monokristallinen, polykristallinen und amorphen Solarmodulen zu befassen, so wie das ursprünglich

geplant war. Die Schüler wollten möglichst schnell zur praktischen Arbeit kommen.



Aufgrund ihres geringen Interesses an der Behandlung des Aufbaus und der Funktionsweise der Antriebs-, Energie- und Steuerteile, verzichteten wir von vornherein auf deren Bearbeitung. Auch ohne diese Kenntnisse gelang es den Schülern nach einigen Fehlversuchen unter Zuhilfenahme des Schaltschemas die Anlage in Gang zu setzen.

Über weite Phasen des Projekts waren wir Lehrkräfte ebenso Lernende wie die Schüler. Es gab fast immer für jeden in den Gruppen etwas zu tun, so dass auch wir fast wie ein Gruppenmitglied mitarbeiteten. Hierin liegen Unterschiede zum traditionellen, nach Fächern getrennten Unterricht und den Möglichkeiten, die eine Übertragung oder pädagogisch-didaktische Verwertung dieser positiven Erfahrungen des Projekts auf bzw. für traditionellen Fachunterricht erschweren.

Norbert Rehner

Kleinere und größere Energieprojekte aus dem Schulalltag heraus

Die folgenden sechs Unterrichtsprojekte sind am Wöhlergymnasium (Frankfurt/Main) durchgeführt worden. Sie sollen Anregungen geben, „aus dem Schulalltag heraus“ diese oder ähnliche Projekte zum Thema „Energie“ durchzuführen.

1. Energierundgang in der Schule (Wahlpflichtunterricht Klasse 9)
2. Projekt „Autofreies Schulfest“ (Aus dem Chemieunterricht einer 9. Klasse)
3. Das Niedrigenergiehaus (Das große Projekt der ganzen Schulgemeinde)
4. Energiesparen in der Schule (Kleinere Projekte im Physikunterricht der Klasse 10)
5. Das Ergometer: Energie selbst erfahren
6. Projektgruppen-Arbeit in einem Leistungskurs Biologie: Halbjahresthema „Ökologie“

1. Energierundgang in der Schule

Geräte: Thermometer (am besten digital anzeigende) und Luxmeter

Was wurde erkundet und gemessen?

- Raumtemperatur in 1,50 m Höhe an drei Stellen im Raum
- Lage des Klassenraums im Schulgebäude und bzgl. der Himmelsrichtung
- Art der Fenster (Einfach- oder Doppelverglasung),
- Helligkeit im Klassenraum an verschiedenen Stellen: in Arbeitshöhe bei ganz, teilweise und nicht eingeschalteter Beleuchtung
- Regulierung der Heizkörper: Sind Thermostatventile vorhanden, und wenn ja, in welcher Stellung betrieben? (Es ist vielen Schülerinnen und Schülern sowie Lehrkräften oftmals nicht klar, dass ein Heizkörper, der auf Stufe 6 eingestellt ist, den Raum nicht schneller erwärmt, sondern dass der Heizkörper nur wärmer wird.)

- Weitere energierelevante Beobachtungen können sein: Sind Jalousien vorhanden und welchen Einfluss haben sie auf Raumtemperatur und -helligkeit

Richtwerte für Schulen

	Klassenräume	Sporträume	Flure, Hallen	Duschen und Umkleidekabinen
Temperatur (°C)	20	17	10 - 15	22
Lichtstärke (Lux)	300	300	100	100

2. Projekt „Autofreies Schulfest“

In einer Chemiestunde wurde das Kohlenstoffdioxid-Molekül behandelt und Bezug genommen auf Zeitungsartikel über die Weltklimakonferenz und die Bedeutung von Kohlendioxid als Klimafaktor. Das Interesse der Schülerinnen und Schüler an diesem Thema gipfelte in dem Wunsch, „etwas Konkretes tun zu wollen“.

Die Schülerinnen und Schüler beschlossen, an einem Tag eine „Zukunftswerkstatt“ durchzuführen und kamen zu dem Ergebnis, anlässlich der bevorstehenden 125-Jahrfeier der Wöhlerschule ein „Autofreies Schulfest“ zu veranstalten.

Es wurden Arbeitsgruppen zu folgenden Aufgaben gebildet: Öffentlichkeitsarbeit, Gestaltung des Infostandes beim Schulfest, Dokumentation und Auswertung des Festes, Kontakte zu Gremien in und außerhalb der Schule, Sichtung und Vorbereitung von Materialien. Unterstützung fanden sie bei der Schulleitung, dem Festausschuss, dem WWF, dem Allgemeinen Deutschen Fahrradclub, dem VCE und der Lokalpresse. In den offiziellen Einladungen und den Presstexten baten die Schülerinnen und Schüler die Besucher, ohne Auto zu kommen. Die Arbeiten wurden vornehmlich an Nachmittagen und Wochenenden erledigt.

Am Haupteingang der Schule wurde der Infostand der Klasse so positioniert, dass niemand vorbeikam. Auch der qua Einladung vorgewarnte Kultusminister kam mit dem Bus. Nicht-Autofahrer wurden gebeten, auf einem Zettel mit Namen und Anschrift die beiden Fragen zu beantworten: Haben Sie wegen unseres Aufrufs heute das Auto stehen lassen? Wie viele Kilometer sind Sie deswegen **nicht** mit dem Auto gefahren?

Eine Gruppe wertete mit Hilfe eines selbst geschriebenen Computerprogramms die Antworten gleich aus und verkündete das Ergebnis auf dem Abschlussfest: Von etwa 3.000 erwachsenen Besuchern des Festes kamen wegen der Aktion „Autofreies Schulfest“ 580 Personen nicht mit dem Auto (ein Teil der anderen hätte auch ohne die Aktion auf das Auto verzichtet). Dadurch wurden ca. 4.850 Kilometer weniger gefahren, etwa 430 Liter Benzin gespart und somit ca. 1 Tonne weniger CO₂ in die Luft geblasen.

3. Das Niedrigenergiehaus

Die Idee zu diesem Projekt ging von einer Schüler-AG aus, die auch an allen Phasen der Planung beteiligt war. Von ihr kam der Vorschlag, die baufällige Baracke auf dem Schulgelände abzureißen und durch ein Niedrigenergiehaus zu ersetzen.

Nachdem die Schüler-AG Fachinformationen aus der Literatur und durch Expertenbefragung zusammengetragen hatte, wurden erste Berechnungen über Dämmwerte von Materialien vorgenommen und Ökobilanzen von Baustoffen zusammengestellt. Lehrkräfte der Schule, die Schulleitung und Eltern wurden für das Projekt gewonnen und schließlich ein „Arbeitskreis Ökohaus“ gegründet.

Auf der Suche nach Realisierungsmöglichkeiten wurden folgende Förderer gefunden: Die Stadt Frankfurt/M. mit Hochbauamt und Schulamt, die Stadtwerke Frankfurt/M., der WWF, Experten unter den Eltern und verschiedene Firmen. Zum wichtigsten Förderer wurde die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, die 2/3 der Finanzierung übernahm.

Die Experten unterstützten die AG bei den weiteren Planungsarbeiten: Bei der Einreichung des Bauantrages, bei der Klärung juristischer Fragen (Wer ist Bauherr? Wer übernimmt juristisch und finanziell die Haftung? Wie sieht der formale Ablauf bezüglich der Überlassung des Grundstücks aus?). Bauherr wurde schließlich der Förderverein der Schule. Ein Unternehmen wurde gefunden, das auch die Beteiligung von Schülerinnen und Schülern am Projekt ermöglichte und den Förderverein absicherte. Die Stadt Frankfurt/M. überließ der Schule das Grundstück während der Bauphase, mit der Auflage, dass sie ein Schenkungsangebot des Grundstücks einschließlich Haus durch den Förderverein erhält.

Nach der Genehmigung des Bauantrags ging die Schüler-AG dazu über, sich mit der Auswahl der Baumaterialien für die Wände und der Dämmstoffe sowie mit der Gestaltung der Dachbegrünung zu befassen. Außerdem wurde ein Nutzungskonzept erarbeitet, welches vorsieht, das Ökohaus nicht nur als Lehr- und Lernraum für die Schule zu nutzen, sondern auch als Informationsraum für Bewohner des Stadtteils im Sinne des Ziels „Die Wöhlerschule als Ökostation im Stadtteil“. Außerdem muss in dem Haus als Ersatz für die Baracke der Pausenverkauf durchgeführt werden, der seit 13 Jahren von Schülerinnen und Schülern organisiert wird.

Der Ist-Stand im Mai 1997: Der Abriss der Baracke ist vorgesehen für Juli 1997, verbunden mit einem kleinen Fest. Der Baubeginn soll im September 1997 stattfinden, die Einweihung im Frühjahr 1998.

4. Energiesparen in der Schule

Die Anregung für das Projekt ging von einer Physik-Fortbildungstagung zum Thema: „Einbindung des Themas Energiesparen in den Physikunterricht der 10. Klasse“ aus.

Im Mittelpunkt der Tagung stand die Diskussion folgender Fragen:

- Machen Projekte an Schulen zum Thema Energiesparen Sinn, wenn in anderen Bereichen unvergleichlich mehr Energieverschwendung stattfindet?

- Ist Energiesparen an Schulen möglich, wenn keine Mittel für Investitionen zur Verfügung stehen?
- Wie zuverlässig sind Aussagen über die Umweltfreundlichkeit von bestimmten Materialien im Zusammenhang mit einer Gesamt-Ökobilanz (Beispiel Dämmstoffe beim Hausbau).

Die Ergebnisse der Diskussion wurden zusammengefasst in dem nachstehenden Themenkatalog, dessen Themen sich weitgehend mit der Einsparung von Heizenergie und Wasser an der Schule befassen. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten die Themen möglichst selbständig - anstelle von Hausaufgaben - und legen einen Ordner darüber an.

Nr.	Thema	Mögliche Inhalte / Aktivitäten
1	Wie gut sind die Wärmedämmwerte der Container-Wände (relativ moderner Bauwerke) gegenüber einer Steinwand?	Informationen über die Container-Konstruktion beim Hersteller, Nachberechnungen von k-Werten für eine Wand inkl. Fenster
2	Wie viele Blechdosen sind im Klassenraum 202 nach der 6. Stunde?	Energiebilanz (Ökobilanz) einer Blechdose, Langzeitbeobachtungen des Dosenaufkommens, Hochrechnung auf Schulgröße
3	Was leistet eine Solarzelle unter realistischen Bedingungen?	Physik der Solarzelle, Langzeitbeobachtungen bei Sonne, Wolken, Regen, Abschätzung des Strombedarfs für die Beleuchtung eines Klassenraums
4	Welche Leistung kann man dem Windrad entnehmen?	Entwicklung einer Langzeit-Messanordnung, Registrierung der Leistung über Tage und Wochen
5	Wieviel Wasser fließt durch das Klassenwaschbecken im Raum 301?	Manipulieren des Abflusses, Auffangen des Brauchwassers, Langzeitbeobachtungen
6	Wie können wir gekippte Fenster bei eingeschalteten Heizungen verhindern?	Entwicklung einer Registrierapparatur für ein Fenster

7	Wie oft wird in den Containern vergessen, die Heizung nach der 6. Stunde auszuschalten?	Langzeitbeobachtungen
8	Wie viele Schüler werden morgens mit dem Auto gebracht? Woher kommen sie und wie viel CO ₂ hat dies erzeugt?	Messungen des Benzinverbrauchs von Autos, Hochrechnung auf das Schuljahr
9	Wieso ist die Klassenraumbeleuchtung an, auch wenn es hell genug ist?	Entwicklung einer Beleuchtungssteuerung (z.B. über Lichtmessungen)
10	Wie weit dämpft Mehrscheibenverglasung das Licht?	Messung der Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von der Glasdicke, Beobachtungen der Helligkeit in einem Klassenraum mit einem Beleuchtungsmesser
11	Welche elektrische Energie braucht eine „Standby“-Schaltung?	Messung kleiner Energiebeträge, Hochrechnungen
12	Wie verhindere ich unnötigen Leerlauf bei Heißwasserboilern?	Konstruktion einer Abschaltautomatik (nach einstündiger Nichtbetätigung des Boilers wird die Stromzufuhr unterbrochen. Auf manuellen Knopfdruck schaltet sich der Boiler wieder ein)
13	Wie koche ich meinen Tee?	Was ist energetisch günstiger, auf der Heizplatte mit Kessel oder in der Mikrowelle?
14	Wie trockne ich meine Wäsche?	Vor- und Nachteile von Wäschetrockner und Trocknen im Freien/im Keller/auf dem Dachboden/im Zimmer
15	Wie messe ich die Wärmeabgabe eines Heizkörpers?	Berechnung der Durchflussmenge und Temperaturdifferenz, Überlegungen zu einem Durchflussmesser („Wasseruhr“) an einem Heizkörper

16	Wieviel bringt eine Dämmung der Scheiben des Hauptgebäudes hinter den Flachheizkörpern?	Berechnung der k-Werte der Westfront mit/ohne Dämmung. Berechnung der Amortisation
17	Wie verhindern wir, dass Lampen in den Klassen während der Pausen weiterleuchten?	Konstruktion eines Schalters, der beim Abschließen des Klassenraums automatisch das Licht ausschaltet
18	Sind die Lampen in den Klassenräumen überdimensioniert ?	Welche Arbeitsplatzrichtlinien gibt es? Lichtmessungen und Reduzier-vorschlag für die Klassenraumbelichtung
19	Ist es sinnvoll, Raumbelichtung in Gruppen zusammenzufassen, so dass je nach Außenstrahlung automatisch Lampen an- bzw. ausgeschaltet werden?	Konstruktion einer Apparatur, die jeder Lampe bzw. Gruppe zugeordnet ist und die Beleuchtungsstärke misst.
20	Wie ist es möglich, das Gesamtenergieaufkommen des Klassenraums 212 zu erfassen?	Wärmeleistungsmesser und Stromzähler ermitteln sichtbar den Energieaufwand.
21	Wie wär's mit einer „Wöhler-Wärme-Aktie“?	Kann man mit Energiesparen Geld machen? Das Investitionskapital könnte mit Aktien aufgebracht werden, die an der Schule gehandelt werden. Die Rendite wird mit dem angesparten Energiegeld bestritten.
22	Wie sieht es mit umweltfreundliche Klassen-/Studienfahrten aus?	Reiseziele, Verkehrsmittel und Arbeits-/Freizeitprogramme, die umweltfreundlich sind
23	Enttarnung von „Energiefressern“ in der Wöhlerschule	Mit Messgeräten ermitteln, wo die größten Energieverbraucher stecken; die Einsparpotentiale ermitteln.

5. Das Ergometer: Energie erfahren

An der Wöhlerschule wurde ein Ergometer angeschafft, wie es auch Ärzte zur Prüfung der Herz- und Muskelleistung einsetzen. Es wurde von den Stadtwerken Frankfurt/M. mit der Auflage finanziert, es auch anderen Schulen zur Verfügung zu stellen.

Auf dem Ergometer können die Schülerinnen und Schüler körperlich erfahren, was es bedeutet, z.B. 400 Watt Leistung zu erzeugen. Die Werte werden verglichen mit der Leistung von elektrischen Haushaltsgeräten, wie Waffeleisen (800 Watt) oder Haarföhn (1000 Watt). Gut durchtrainierten Schülerinnen und Schülern gelingt es, ca. 750 Watt für einige Sekunden zu produzieren. Es wird daran gedacht, das Gerät so umzubauen, dass ein Stromverbraucher angeschlossen werden kann, so dass durch Körperkraft - also in die Pedale treten - der nötige Strom erzeugt wird. (Das ist beim vorhandenen Gerät nicht so einfach, da sein Kernstück nicht ein Generator ist, sondern eine Wirbelstrombremse, gegen die die Leistung erbracht werden muss.)

6. Projektgruppen-Arbeit in einem Leistungskurs Biologie: Halbjahresthema „Ökologie“

Folgende Projekte zum Thema „Stadtökologie“ wurden von der Lehrkraft sowie von Schülerinnen und Schülern vorgeschlagen:

- Grünflächen in der Stadt: Pflege, Bepflanzung und Auswirkung auf das Stadtklima
- Der Main: Wirtschaftliche und historische Bedeutung sowie ökologische Probleme.
- Der Urselbach von der Quelle bis zur Mündung und seine Veränderungen in den letzten 50 Jahren
- Abfallproblematik in Frankfurt/M. im Zusammenhang mit dem Dualen System.
- Die Müllverbrennungsanlage in Frankfurt-Nordweststadt: Pro und Contra

- Der Grüngürtel in Frankfurt/M.: Entstehung und seine ökologische Bedeutung.
- Der Stadtwald: Seine Geschichte und derzeitige Bedeutung für die Stadt
- Der Flughafen Frankfurt/M. zwischen Ökonomie und Ökologie
- Der öffentliche Nahverkehr in Frankfurt/M.: Welche Verbesserungsvorschläge gibt es?
- Die Verkehrssituation auf der Eschersheimer Landstraße: Sollen die U-Bahnhaltestellen über die Erde verlegt oder soll der unterirdische Ausbau fortgeführt werden?

Schülerinnen und Schüler wählten (in Zweiergruppen) ein Thema aus. Sie erstellten einen Arbeitsplan, sammelten Literatur und setzten sich mit Institutionen (Ämter der Stadt, Verbände) in Verbindung, die sie in ihrem Vorhaben unterstützten. Nach ca. 2 Monaten der Vorbereitung begann die eigentliche Arbeitsphase. Fünf Wochen wurde an den Projektthemen gearbeitet, wobei ihnen die Lehrkraft zu den regulären Zeiten des Biologieunterrichts (6 Stunden pro Woche) mit der Ausgabe von Laborgeräten, mit der Bereitstellung von Fachliteratur und mit Beratung zur Verfügung stand. Am Ende des Projekts verfasste jede Arbeitsgruppe einen Bericht und stellten diesen gegenseitig vor.

- Der Grüngürtel in Frankfurt/M.: Entstehung und seine ökologische Bedeutung.
- Der Stadtwald: Seine Geschichte und derzeitige Bedeutung für die Stadt
- Der Flughafen Frankfurt/M. zwischen Ökonomie und Ökologie
- Der öffentliche Nahverkehr in Frankfurt/M.: Welche Verbesserungsvorschläge gibt es?
- Die Verkehrssituation auf der Eschersheimer Landstraße: Sollen die U-Bahnhaltestellen über die Erde verlegt oder soll der unterirdische Ausbau fortgeführt werden?

Schülerinnen und Schüler wählten (in Zweiergruppen) ein Thema aus. Sie erstellten einen Arbeitsplan, sammelten Literatur und setzten sich mit Institutionen (Ämter der Stadt, Verbände) in Verbindung, die sie in ihrem Vorhaben unterstützten. Nach ca. 2 Monaten der Vorbereitung begann die eigentliche Arbeitsphase. Fünf Wochen wurde an den Projektthemen gearbeitet, wobei ihnen die Lehrkraft zu den regulären Zeiten des Biologieunterrichts (6 Stunden pro Woche) mit der Ausgabe von Laborgeräten, mit der Bereitstellung von Fachliteratur und mit Beratung zur Verfügung stand. Am Ende des Projekts verfasste jede Arbeitsgruppe einen Bericht und stellten diesen gegenseitig vor.

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren

- ◆ *Prof. Dr. Arnim von Gleich*, geb. 1949, Studium der Biologie und Pädagogik. Mitarbeiter der ersten Bundestagsfraktion der Grünen in den Bereichen Umwelt- und Technologiepolitik, anschließend Mitbegründer und viele Jahre Mitglied im Vorstand des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung Berlin (GmbH). Seit 1994 Professor für Technikbewertung am Fachbereich Maschinenbau und Chemieingenieurwesen der Fachhochschule Hamburg, Mitglied der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestags. Forschungsschwerpunkte: Kriterien der Technikbewertung, sanftere Alternativen in den Bereichen Chemie und Biotechnik.
- ◆ *Dipl. Ing. Bernd Jaenicke*, geb. 1952, gelernter Mechaniker und Elektromechaniker, Studium des Maschinenbaus mit dem Schwerpunkt „Energie- und Umwelttechnik“. Arbeitsschwerpunkte: Freiberuflich für die Planung von Energie- und Solaranlagen tätig, Mitarbeit an einem vom Bremer Institut für Technik und Bildung entwickelten Curriculum für einen Modellversuch im Berufsschulbereich, bei Greenpeace ehrenamtlich tätig.
- ◆ *Dieter Kasper*, geb. 1939, Diplomfachlehrer für Polytechnik und Sport an der Richtsberg Gesamtschule Marburg.
- ◆ *Dr. Armin Kremer*, geb. 1951, Studium der Physik, Mathematik, Soziologie und Pädagogik, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Landesinstitut für Schule und Weiterbildung Soest, Mitglied der Arbeitsgruppe Soznat am Fachbereich Erziehungswissenschaften der Universität Marburg. Arbeitsschwerpunkte: Naturwissenschaftsdiagnostik, Curriculumentwicklung, Ökologisch-politische Bildung.
- ◆ *Elke Peter*, geb. 1969, Studentin der Chemie und Biologie.

-
- ◆ *Norbert Rehner*, geb. 1946, Studium der Chemie und Biologie, Oberstudienrat, Fachbereichsleiter für Naturwissenschaften am Wöhlergymnasium Frankfurt/M. und verantwortlich für die Ökologieprojekte an der Schule. Arbeitsschwerpunkte: Lehrer-Schüler-Projekte zur naturnahen Umgestaltung des Schulgeländes, projektorientiertes Arbeiten an der Schule.
 - ◆ *Dr. Lutz Stäudel*, geb. 1948, Studium der Chemie und Psychologie, Chemie- und Naturwissenschaftdidaktiker an der Universität Gesamthochschule Kassel. Arbeitsschwerpunkte: Naturwissenschaftsdidaktik, Curriculumentwicklung, Nachwachsende Rohstoffe.
 - ◆ *Dr. Ines Weller*, geb. 1954, Studium der Chemie. Arbeitsschwerpunkte: Sozial-ökologische Forschung mit den Schwerpunkten „Umweltforschung und Geschlechterverhältnisse“, „Umweltbewusstsein/Umweltverhalten“ und „Alltagsökologie und Stoffstrommanagement“.
 - ◆ *Dipl. Ing. Dirk Wolters*, geb. 1968, Studium des Maschinenbaus und der Volkswirtschaftslehre, seit 1996 Doktorand und freier Mitarbeiter am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Arbeitsschwerpunkte: Wissenschaftliche Hilfskraft am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) und am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, Aufenthalt in Brasilien (Studium, Praktikum und freier Mitarbeiter eines Entwicklungsprojekts in Amazonien).

