

Aktuelle Beiträge zur Energiediskussion Nr. 3

Sanfte Energieversorgung

Möglichkeiten – Probleme – Grenzen

von

D. Oesterwind, O. Renn, A. Voß

Kurzfassung

Der vorliegende Bericht befaßt sich mit einem alternativen Entwicklungspfad für die Energiewirtschaft der Bundesrepublik Deutschland, der von seinen Befürwortern als "sanfter" Weg bezeichnet wird. Diesem "sanften" Weg, der sich durch die Nutzung erneuerbarer Energieströme am Ort des Verbrauchs auszeichnet, werden eine Reihe von Vorteilen zugeschrieben: Flexibilität im Energieangebot, einfache Handhabung, überschaubare Größenordnung, geringes Risiko und Angepaßtheit an die Bedürfnisstruktur der jeweiligen Nachfrager. Nach den Vorstellungen der "sanften" Vertreter ist der von ihnen vorgeschlagene Energiepfad unter technischen, ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Aspekten der bisherigen Entwicklung zu immer größeren Einheiten und von einander abhängigen Subsystemen (dem sog. "harten" Weg) vorzuziehen.

Dagegen kommen unsere Analysen zu dem Ergebnis, daß unter Ausschöpfung aller dezentralen und zentralen regenerativen Energieflüsse, sowie bei weitgehender Ausschöpfung von Energiesparmöglichkeiten und ohne Berücksichtigung ökonomischer Aspekte etwa 30 % unseres zukünftigen Energiebedarfs durch "sanfte" Energien gedeckt werden kann. Die Forderung nach einer vollständigen Umstrukturierung unserer Energieversorgung auf "sanfte" Energie muß deshalb als unrealistisch eingestuft werden.

Die Ergebnisse des Wirtschaftlichkeitsvergleichs verschiedener Raumheizungssysteme zeigen, daß selbst bei weiteren Energiepreissteigerungen der fossilen Energieträger die "sanften" Energiesysteme (z.B. Solarsysteme) betriebswirtschaftlich unrentabel bleiben.

In Ergänzung zu der betriebswirtschaftlichen Kostenanalyse wurde auch eine gesamtwirtschaftliche Analyse durchgeführt. Aufgrund der geringen Angebotsflexibilität, der erhöhten Verwundbarkeit, des höheren Kapitalbedarfs und des höheren Arbeitskräfteeinsatzes der "sanften" Energien ist mit erheblich höheren volkswirtschaftlichen Kosten zu rechnen als im Falle einer Energieversorgung, die die spezifischen Vorteile der verschiedenen Energiesysteme für die jeweilige Versorgungsaufgabe bewußt nutzt.

Im Rahmen der Auseinandersetzung mit den sozio-politischen Argumenten der Vertreter eines "sanften" Energieweges haben wir versucht, deutlich zu machen, daß die von den alternativen Theoretikern angestrebten gesellschaftlichen Ziele, wie mehr Selbstbestimmung, Arbeitszufriedenheit und Sozialverträglichkeit, nicht unmittelbar oder überhaupt nicht im Zusammenhang mit den Merkmalen einer "harten" oder "weichen" Technik stehen. Weiterhin läßt sich aufgrund unserer Projektion einer "sanften" Gesellschaft vermuten, daß die Rückführung auf eine Subsistenzwirtschaft den Freiheitsspielraum des Menschen durch die größere Abhängigkeit von der Natur und die stärkere kollektive Einbindung einengen würde; eine alternative Gesellschaft bietet dann keine Möglichkeit mehr, nicht "alternativ" zu leben.

Fazit unserer Untersuchungen:

Wir sollten den erreichten individuellen Freiraum zur Gestaltung unseres Lebens nicht durch extreme Lösungswege einschränken, sei es auf der Basis einer ausschließlich "sanften" oder einer sogenannten "harten" Energieversorgung. Worauf es zur Lösung unserer Energieversorgungsprobleme ankommt, ist die Nutzung der spezifischen Vorteile aller Energiesysteme.

Abstract

This report deals with an alternative future path for the energy economy of the Federal Republic of Germany which is called the "soft" energy path by its supporters. This "soft" energy path is distinguished by the use of renewable energy flows in those locations where energy is needed and it is supposed to have some advantages. It is said to be flexible with respect to energy supply, easy to handle, of a reasonable size with respect to energy supply units, of minimal risk, and to fit the specific needs of the energy consumers. This "soft" energy path – if one is to believe their supporters – is to be preferred for technical, ecological, economic and social reasons, as the past development of conventional energy systems shows a tendency towards increasingly large units and mutually dependent subsystems (the so called "hard" energy path).

Our analyses, however produce the result that in applying all possibilities of decentralized and centralized regenerative energy flows, as well as applying the same rigorous means of energy saving possibilities, approximately 30 % of our future energy demand can be covered by "soft" energy technologies. The demand for a complete structure change of our energy supply to "soft" energy must therefore be classified as unrealistic.

The results of the comparison of costs of various space heating systems show that even with further energy price increases of the fossil energy carriers the "soft" energy systems (e.g. solar systems) remain uneconomic.

Supplementary to the economic analysis purely on a business level, an additional analysis of the national economy has been performed. Because of the low flexibility of supply, the increased vulnerability, the higher capital demands and the higher labour input of the "soft" energy technologies, considerable economic excess costs are to be expected. These costs would not occur with an energy supply system which deliberately allocates and uses the specific advantages of various energy systems with respect to the different energy needs.

Within the framework of our argument about the socio-political aspects brought into the discussion by supporters of "soft" energy paths we have tried to make it clear that the social goals (e.g. self-determination, satisfactory work conditions, social compatibility) popularized by supporters of the latter are not directly or in no way connected with the characteristics of "hard" or "soft" technologies. Furthermore, one might still have some doubts about the projection of a "soft" society: the return to a totally self-subsistent economy might replace the present possibilities of action by more extensive dependence on nature and an even stronger social inter-dependence. Thus, no alternative lifestyles would be possible in an alternative society.

As a result of our survey we can see that we should not narrow the present state of individual freedom by radical solutions, be it by means of a totally "soft" or in contrast to totally "hard" path of energy supply. The only solution to our energy problems is the use of all specific advantages of all energy supply systems.

Gliederung

	Seite		Seite
1. Einführung	7	4.2 Vergleich verschiedener Raumheizungssysteme	23
2. Evolutorische Entwicklung der Energieversorgung – Ein Blick zurück	8	4.2.1 Wärmedichteprofil	23
2.1 Das Evolutionsprinzip der Natur	8	4.2.2 Transport- und Verteilungskosten	25
2.2 Von der dezentralen zur zentralen Energieversorgung	10	4.2.3 Hausinvestitionskosten	26
2.3 Vom Kleinkraftwerk zum Großkraftwerk	11	4.2.4 Gesamtkosten	27
2.3.1 Baumaterialaufwand und Kraftwerksleistung	12	5. Ökologische Auswirkungen und volkswirtschaftliche Implikationen der sanften Energieversorgung	30
2.3.2 Brennstoffbedarf und Kraftwerksleistung	12	5.1 Nutzungsgrade	30
2.3.3 Flächennutzung und Kraftwerksleistung	13	5.2 Emissionen	31
2.3.4 Personaleinsatz und Kraftwerksleistung	14	5.3 Kapitalbedarf	32
2.3.5 Gleichzeitigkeitsfaktor und Kraftwerkskapazität	14	5.4 Arbeitskräfteeinsatz	33
2.3.6 Reservehaltung und Kraftwerkskapazität	14	5.5 Flexibilität	33
2.4 Fazit	15	6. Sozioökonomische und sozialpsychologische Aspekte des sanften Technologie- und Gesellschaftsentwurfs	33
3. Ein sanftes Energieszenarium für die Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2030	15	6.1 Sanfte Technik: Anspruch und Wirklichkeit	33
3.1 Energienachfrage	15	6.1.1 Von der alternativen Technik zur alternativen Gesellschaft	33
3.2 Energieversorgungspotential	16	6.1.2 Die Kritik an der konventionellen Technik	34
3.2.1 Wasserkraftwerke zur Elektrizitätserzeugung	17	6.1.3 Die Auseinandersetzung mit den Argumenten der sanften Technokritik	35
3.2.2 Windkraftwerke zur Elektrizitätserzeugung	17	6.2 Das alternative Leben: Humanität ohne Zwang?	39
3.2.3 Solarsystem für Ein- und Zweifamilienhäuser	17	6.2.1 Die Gestaltungsmerkmale einer neuen Gesellschaft	39
3.2.4 Solarsystem mit dieselmotorbetriebener Wärmepumpe	18	6.2.2 Kritische Anmerkungen zu einem alternativen Gesellschaftsentwurf	41
3.2.5 Motor/Generator-Anlage	19	7. Zusammenfassung und Ausblick	44
3.2.6 Biomassenumwandlungsanlagen	19	8. Literaturverzeichnis	46
3.3 Energienachfrage im Vergleich zum Energieangebotspotential	21		
4. Wirtschaftlichkeit der sanften Energiesysteme	22		
4.1 Kosten zur Elektrizitätserzeugung und Brennstoffgewinnung	22		

1. Einführung

Mit dem Begriff "Sanfte Energie" hat in der jüngsten Zeit ein neues Schlagwort Eingang in die öffentliche Energiediskussion gefunden, hinter dem sich der Aufruf zu einer grundlegenden Änderung unserer Energieversorgung und die Aufforderung zu einer "energie- und industriepolitischen Umrüstung unserer Gesellschaft" verbirgt, wie es im Untertitel zu der deutschen Übersetzung des Buches "Soft Energy Paths" von dem wohl bekanntesten Vertreter des sanften Energieweges Amory B. Lovins heißt [1]. Es geht also um mehr als um Energie; es geht um wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungen und um Energiepolitik als Hebel für diese Veränderungen [2]. Für eine kritische Auseinandersetzung mit der Idee "Sanft" kann man sich daher nicht allein auf die technisch-wirtschaftlichen Aspekte einer "Sanften Energieversorgung" beschränken, sondern muß auch ihre gesellschaftspolitischen und sozialpsychologischen Grundthesen und Zielvorstellungen mit einbeziehen, da aus ihnen letztlich die technischen Vorstellungen abgeleitet sind.

Bleiben wir aber zunächst auf der technischen Ebene; was verbirgt sich hier hinter dem Begriff "sanfte Energie"? Es gibt bisher noch keine allgemein verbindliche Definition, was mit dem Begriff "sanft" gemeint ist. Hier soll auch nicht der Versuch unternommen werden, den gemeinten Begriffsinhalt scharf abzugrenzen, weil aus Sicht derjenigen, die diese Idee vertreten, gerade diese Unschärfe es erlaubt, ihn als Synonym für verschiedene Sachverhalte, wie z.B. Dezentralität, Nutzung regenerativer Energiequellen, ökologisch angepaßt und überschaubar, zu gebrauchen. Nach Lovins [3] lassen sich die "sanften Energietechniken" wie folgt kennzeichnen:

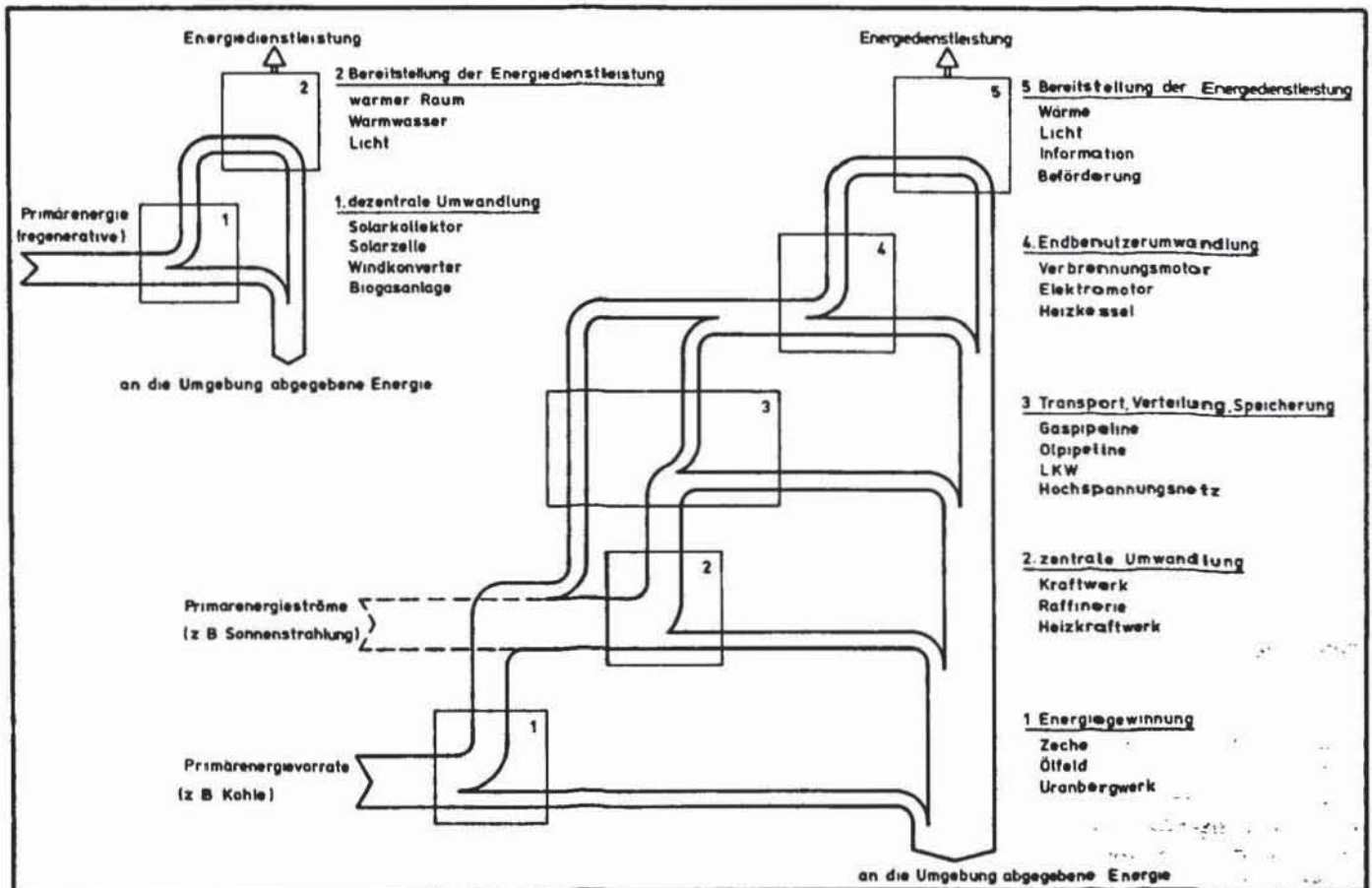
1. Sie nutzen erneuerbare Energieströme, wie Sonne, Wind und Vegetation.

2. Sie stellen die Energie in vielen kleinen Einheiten bereit.
3. Sie sind flexibel und verlangen lediglich den Einsatz einer vergleichsweise einfachen Technik.
4. Sie sind in der Größe und in der geographischen Verteilung den Bedürfnissen des Endverbrauchs angepaßt.
5. Sie sind in der Energiequalität dem Endverbrauch angepaßt.

Der technische Unterschied zwischen einem "sanften" oder im strengen Sinne dezentralen Energiesystem und unserem heutigen Energieversorgungssystem läßt sich schematisch wie folgt verdeutlichen (s. Abb. 1):

Mit dem Energieversorgungssystem sollen die notwendigen Energiemengen für den volkswirtschaftlichen Produktionsprozeß sowie für die Befriedigung der privaten Nachfrage nach Energiedienstleistung (z.B. Licht oder einem warmen Raum) bereitgestellt werden. Im Falle einer "sanften" Energieversorgung geschieht dies durch die Nutzung regenerativer Energieströme, z.B. der Sonnenstrahlung und des Windes am Ort des Energieverbrauchs, etwa auf dem Grundstück des Einfamilienhauses. Die Umwandlung des natürlich vorhandenen Primärenergiestromes erfolgt somit in einer Vielzahl kleiner Anlagen. Im Gegensatz zu den sog. "sanften Energiesystemen" muß bei den heute vornehmlich genutzten Energieträgern die Energie vom Ort ihres Vorkommens (z.B. dem Ölfeld oder der Kohlelagerstätte) zum Ort des Verbrauchs transportiert werden. Dabei erweist es sich oft als effektiver, die Primärenergie nicht in ihrem Urzustand zu transportieren, sondern – wie beispielsweise bei der Steinkohle – sie zunächst in einen Sekundärenergieträger (z.B. Elektrizität) umzuwandeln, der leichter zu verteilen und bequemer anzuwenden ist. Auch die Nutzung regenerativer Energieströme an Orten mit besonders günstigen Bedingungen (z.B. die Umwandlung von Sonnenenergie in Elektrizität in Südeuropa) und ein anschließender Transport

Abb. 1: Schematische Darstellung zentraler und dezentraler Energieversorgungssysteme



dieser Energie zum Verbraucher ist in diesem Sinne ein zentrales Energiesystem. Zentrale Energieversorgungssysteme sind also deshalb zentral, weil sie die wenigen Orte, die von der Natur mit Energievorräten bzw. mit besonders hohen Energieströmen ausgestattet worden sind, mit den Orten des Verbrauchs verbinden müssen.

Welches sind nun die "sanften Energietechniken", die nach den Verfechtern dieser Idee nach einer Übergangszeit von 40-50 Jahren unseren gesamten Energiebedarf decken sollen? Von Lovins werden die folgenden genannt [4]:

- solare Heizungs- und Kühlungssysteme
- flüssige und gasförmige Brennstoffe aus Biomasse
- Windenergiekonverter
- Hochtemperatur-Solarkollektoren.

Ausdrücklich ausgenommen werden solar-thermische- und Solarzellen-Kraftwerke, geothermische Kraftwerke sowie alle anderen, heute genutzten und in Entwicklung befindlichen Energietechniken.

Die Beschränkung auf diese wenigen im strengen Sinne "sanften Energiesysteme" wirft natürlich die Frage auf, ob mit einem derartigen System der Energiebedarf überhaupt gedeckt werden kann und welche Konsequenzen damit verbunden sind. Wir werden versuchen, auf diese Frage eine Antwort zu geben.

Weitere wichtige Merkmale, die der "sanften Energieversorgung" von ihren Vertretern zugeschrieben werden, sind die minimalen Verluste durch Transport und Verteilung, die kurzen Bauzeiten und ihren auch für den technischen Laien überschaubaren Aufbau. Sie seien darüber hinaus heute schon erprobt und wirtschaftlich. Insbesondere sei ihr Kapitalbedarf wesentlich geringer als bei den heute genutzten Großtechnologien. Eine auf diesen "sanften Energiesystemen" aufbauende Energieversorgung böte darüber hinaus, so Lovins, "viele gesellschaftliche, wirtschaftliche und geopolitische Vorteile, einschließlich der praktischen Beseitigung der nuklearen Proliferation, der Weiterverbreitung von Kernenergie auf der Welt" [5].

Angesichts dieser von den "sanften" Vertretern gezeichneten Zukunftsperspektiven muß jedem die "sanfte Energieversorgung" als ein paradiesisches Angebot erscheinen, das man kaum ausschlagen kann, insbesondere dann nicht, wenn man es mit den von den "sanften" Energievertretern beschriebenen Konsequenzen des Alternativweges, den sie den "harten" Weg nennen, vergleicht. Dieser sogenannte "harte" Weg, stellt in der „sanften“ Theorie die Fortsetzung der bisherigen Entwicklung zu immer größeren Einheiten und voneinander abhängigen Subsystemen dar, sieht die Lösung des Energieproblems allein durch eine rasche Ausweitung der Nutzung der Kohle (sowohl zur Erzeugung von Elektrizität wie auch von synthetischen Brennstoffen), der Kernspaltung (einschließlich des Schnellen Brütters) und der Erschließung der unkonventionellen Erdöl- und Erdgasreserven gewährleistet, sieht zwar den sparsamen Umgang mit Energie "als nötig" an, räumt ihm aber "eher rhetorische als wirkliche Priorität" ein und spricht den regenerativen Energiequellen "höchstens eine unbedeutende Rolle" zu. Dieser "harte" Weg sei ein Weg in die Sackgasse. Sein Kapitalbedarf übersteige die Möglichkeiten unserer Volkswirtschaft; er sei unwirtschaftlich und führe zur Machtkonzentration und zu Technokratentum. Letztlich bewirke der "harte" Weg die Entmündigung des Menschen und die Entfremdung von der Natur und von den durch den Menschen selbst geschaffenen Gütern.

An die Stelle der angeblich ausbeuterischen, umweltschädigenden und selbstzerstörerischen Großtechnik setzen die Vertreter des "sanften" Weges das Bild einer dezentralen, überschaubaren, risikoarmen und Befriedigung verschaffenden Technostruktur, die ihren adäquaten Platz in einer ökologisch ausgerichteten Gesellschaft hat.

Das hieraus ersichtliche gesellschaftliche und sozialphilosophische Gedankengut der "sanften Energieversorgung" läßt sie als Teil einer umfassenderen Technik- und Kulturkritik erkennen, die in den letzten Jahren insbesondere in den Industriestaaten an Bedeutung gewonnen hat. Aus diesem Grunde wird man in der Auseinandersetzung mit der Idee "sanft" nicht umhinkommen, sich auch mit den gesellschaftstheoretischen Grundvorstellungen der Alternativbewegung kritisch auseinanderzusetzen. Wir werden dies im Kapitel 6 tun.

Zuvor aber wollen wir im Kapitel 2 in einem historischen Rückblick die Gründe aufzeigen, die zu der heutigen Form unseres Energieversorgungssystems geführt haben und der Frage nachgehen, ob diese Entwicklung dem evolutorischen Entwicklungsprozeß der Natur widerspricht.

Im 3. Kapitel wird ein "sanftes Energieszenarium" für die Bundesrepublik Deutschland entworfen, um die zentrale Frage zu beantworten, ob eine ausschließlich "sanfte Energieversorgung" für dieses Land überhaupt technisch realisierbar ist, und welche Konsequenzen damit verbunden sind.

Im anschließenden 4. Kapitel werden verschiedene "sanfte" und dezentrale Energiesysteme mit ihren zentralen Alternativen in bezug auf ihre Kosten verglichen.

Ein energetischer und ökologischer Vergleich der "sanften", dezentralen Energiesysteme mit ihren zentralen Alternativen wird im 5. Kapitel durchgeführt, wobei gleichzeitig volkswirtschaftliche Implikationen einer "sanften Energieversorgung" aufgezeigt werden.

Das abschließende 7. Kapitel gibt eine zusammenfassende Wertung der wesentlichen Aspekte einer "sanften Energieversorgung". Für den eiligen Leser sei insbesondere auf dieses Kapitel verwiesen.

2. Evolutorische Entwicklung der Energieversorgung - Ein Blick zurück

"Wir müssen umschalten". Zu diesem Ergebnis kommt K. Traube in seiner Analyse des gesellschaftlichen Unbehagens an der Industriegesellschaft [6]. Nach seiner Analyse steht die Großtechnik nicht mehr im Einklang mit der Natur, sondern ist der Evolution der Natur entgegengerichtet und schadet in Ihrer Anwendung heute dem Menschen mehr als daß sie ihm nützt. Hieraus wird von den Vertretern des "sanften Weges" der Schluß gezogen, die bisherige Entwicklungsrichtung sei eine Fehlentwicklung, die schon vom Grundsatz her falsch angelegt sei. Eine Fortsetzung dieses Weges führe zwangsläufig in eine Sackgasse - in eine Welt ohne Rohstoffe, Energie und lebenswerte Umwelt.

Die Gründe für diese vergangene Entwicklungsrichtung sollen in diesem Kapitel analysiert werden, um sich ein Urteil über die bisherige Entwicklung zu bilden. Hierzu wollen wir uns mit zwei zentralen Fragen auseinandersetzen:

1. Was ist das Evolutionsprinzip der Natur, und hat sich die Entwicklung der Technik evtl. von diesem Prinzip entfernt?
2. Was waren die Ursachen, die von einer dezentralen Versorgungsstruktur zu einer zentralen Versorgungsstruktur und von Kleinkraftwerken zu Großkraftwerken führten?

2.1 Das Evolutionsprinzip der Natur

Der Technikbegriff wird für die vielfältigsten anthropogenen Erscheinungsformen benutzt; denn die Vorstellungen, was Technik ist, gehen weit auseinander [7]. Versucht man sich die Vielfalt der Auffassungen und den breiten Bedeutungsumfang

zu vergegenwärtigen, so denkt man zuerst an die "künstlichen" Gebilde, die einem das tägliche Überleben garantieren. Zu erwähnen sind hierbei die Häuser und Städte, die einem Schutz bieten gegenüber den jahres- und tageszeitlichen Klimaschwankungen und den Unwägbarkeiten der Natur. Zu denken ist weiterhin an die Hilfsmittel, die dazu beitragen, Nahrung, Kleidung und Wärme in ausreichender Menge zu sichern. Weiterhin ist an Autos, Kühlschränke, Fernsehapparate, an die Einrichtungen in Fabriken und Krankenhäusern zu denken, die das Leben erleichtern und angenehmer gestalten. Aber auch die Techniken der Forschung, des Managements, der Kunst und der Religion dürfen nicht vergessen werden [8].

Trotz dieser verschiedenen Verwendungen des Begriffs Technik muß dieser Begriff etwas Gemeinsames verbinden, denn sonst würde nicht im Sprachgebrauch das gleiche Wort für verschiedene Sachverhalte verwandt. Die Gemeinsamkeit liegt nicht in den vielfältigsten Aufgaben der Technik, die ihr der Mensch zur Erreichung bestimmter Ziele zugeordnet hat, sondern in der Weise des Vorgehens, in der Art des Handelns, die ihre eigenen Maßstäbe hat. Die Technik gewährt Hilfsmittel unabhängig von den Zielen, aber indem sie hilft, beeinflusst sie Durchführung und Ziele mit; denn von ihrem Entwicklungsstand ist es in jedem einzelnen Fall abhängig, wie etwas durchgeführt wird und in welchem Maße das Ziel erreicht werden kann. So liegt es in der Natur der Technik, daß sie dem Menschen zwar dient, ihm andererseits aber Restriktionen auferlegt. Diese Ambivalenz spitzt das Problem der Technik in ungewöhnlicher Weise zu. Die Technik formt das Leben des Menschen, indem sie ihm hilft, aber auch gleichzeitig einen Preis dafür fordert. Fragt man nach dem Formgebungseinfluß der Technik auf die Lebensgestaltung des Menschen, so sind nicht die technischen Aufgaben und Ziele zu analysieren, die ihr der Mensch diktiert, sondern es ist das Vorgehen (die Methode) der Technik aufzuzeigen.

Technisches Vorgehen verwendet Mittel, die zwischen dem Startpunkt einer Handlung und einem Handlungsziel eingefügt werden. Diese Mittel sind etwas anderes als die vom Menschen gesetzten Ziele selber, und daher führen sie zunächst von dem Ziel fort. Sie haben jedoch die Eigenschaft, daß durch ihre Vermittlung das Ziel leichter erreichbar wird, d.h. über den Umweg (Technik) gelangen wir zum Ziel. Daß der Umweg der schnellere Weg sein kann, ist ein bedeutungsvoller naturwissenschaftlicher Sachverhalt [9]. Verfolgen wir diesen Gedanken kurz, denn er ist wichtig, weil er zeigt, wie die Möglichkeit technischen Handelns im naturwissenschaftlichen Grundmuster unserer Welt angelegt ist.

Wenn wir nach den Wegen der Veränderung, nach dem Aufbau- und Prozeßgeschehen in der Natur ganz allgemein fragen, ist es zweckmäßig, zuerst die chemischen Reaktionen zu betrachten, da diese die Rahmenbedingungen für jedes Wachstum darstellen. Eine wesentliche Aufgabe beim chemischen Prozeß hat der Katalysator. Hierunter wird eine Substanz verstanden, die die Reaktionsgeschwindigkeit durch ihre pure Anwesenheit beschleunigt, ohne sich selbst dabei bleibend zu verändern. Eine Untersuchung der Reaktionsmechanismen zeigt, daß der Katalysator mit Reaktionspartnern Zwischenverbindungen (Umwege) bildet, die am Ende der Reaktion aber wieder zerfallen. Dieser Weg über die Zwischenstufen vermittelt häufig erst den Prozeßstart und die Beschleunigung. Die Katalyse findet in der Chemie breite Anwendung. Generell kann man feststellen, daß die Leistungsfähigkeit von Katalysatoren mit ihrem Differenzierungsgrad zunimmt. Eine noch viel höher geordnete Struktur weisen die biologischen Katalysatoren – die Enzyme – auf. Sie bewirken eine massive Umsatzerhöhung, und darüber hinaus steuern sie durch selektive Beschleunigungen und Verzögerungen das gesamte Prozeßgefüge des Stoffwechsels, des Wachstums und des Aufbaus der lebendigen Formen. Überschlüssig kann man sagen, daß die Enzyme das Temperaturniveau chemischer Umset-

zungen um 100°C bis 300°C senken und damit häufig erst einen Prozeßstart initiieren; und darüber hinaus die Geschwindigkeit um das 10³–10¹⁵-fache steigern [10]. Auch die Entwicklung der Organismen liefert zahlreiche Beispiele für die Überlegenheit der Umwege. So ist die Blütenbestäubung vielfach auf die Mitarbeit von Zwischenträgern, der Insekten und des Windes, angewiesen. Letztlich ist auch die geschlechtliche Fortpflanzung eine entscheidende Entwicklungsstrategie der Natur, ein komplizierter Umweg. Die passenden Partner werden unabhängig voneinander geboren und wachsen i.d.R. getrennt auf. Sie müssen sich in der fortpflanzungsfähigen Zeit suchen und finden, weiterhin Verhaltens- und Kommunikationsmethoden lernen, die den Fortpflanzungsprozeß ermöglichen. Scheint dieser Weg auch kompliziert, so ist es gerade dieser 'Umweg', der eine Neukombination der Erbgemeinschaften erlaubt und bei gleichem Genbestand lebenskräftige Nachkommen erzeugt [11].

Ohne zur weiteren Erklärung des Umweges auf die Kybernetik und Systemtheorie [12] einzugehen, sollen diese skizzierten Beispiele genügen, um aufzuzeigen, daß die Evolution in der Natur auf dem konstituierenden Prinzip der 'Zwischenglieder' 'Umwege', 'Differenzierung', 'Strukturierung', 'Spezialisierung' und 'Arbeitsteilung' aufbaut, weil sie den Schlüssel zur organischen Höherentwicklung in der Hand hält. Die höher strukturierten Systeme haben die Chance, in einer gegebenen Umwelt schnell zu reagieren. Sie setzen sich im Wettbewerb der Reaktionsgeschwindigkeiten durch (wie bei den Katalysatoren verdeutlicht) und ziehen somit den Strom der Veränderungen an sich.

Als der Mensch vor mehreren Millionen Jahren in die Natur eintrat, setzte er mit seinem technischen Handeln das Werk der Natur fort. In Analogie zur Natur wurden die charakteristischen Merkmale für den Entwicklungsstand der Technik die Länge des Umweges, die Möglichkeit, immer größere Zusammenhänge zu überblicken, immer mehr Zwischenstufen einzuschalten und Mittel einzusetzen, die über immer längere Wirkungsketten mit dem Enderfolg verknüpft sind.

Das erste Werkzeug des Menschen, der Faustkeil, hat noch unmittelbar die Wirkung des Handschlages unterstützt. Seine Herstellung orientierte sich anfänglich weitgehend an dem Vorbild der Natur. Erst gegen Ende der Wildbeutergesellschaft (um 30.000 v. Chr.) kam es zu Erfindungen von Werkzeugen und Methoden, die es in der Natur nicht gab (z.B. Schneidegeräte, Pfeil und Bogen, Angelhaken) und die sich immer mehr bei der Herstellung vom Ziel distanzieren. Die bedeutende technische Leistung der Zähmung des Feuers (ca. 750.000 v. Chr.) verfügte bereits nicht mehr über diese unmittelbare Anschaulichkeit des Erfolges; die Wirkungen waren weitläufiger und unübersichtlicher. Konnten Werkzeuge jetzt durch Warmverformung effizienter hergestellt und eingesetzt werden, so führte das Feuer auch zum Schutz vor Kälte und wilden Tieren. Vor allem verbreiterte es die Ernährungsbasis durch umfangreichere Zubereitungs-techniken [13].

Von da an wird in der Geschichte der Technik der Weg über die Mittel zum Ziel immer länger. Der Mensch holt immer weiter aus, immer umfassender, langfristiger und komplexer sind die Umwege und die Bemühungen um die Erstellung der Hilfsmittel. Ab den Agrarkulturen (ca. 9000 v. Chr.) pflügt der Landmann den Acker, aber erst nach Jahresfrist wird er seinen Erfolg ernten [14]. Noch viel weitläufiger sind die Methoden moderner Projekte. Man denke z.B. an die Landung auf dem Mond, die für rd. 10 Jahre die Arbeiten von über 300.000 Menschen absorbierte und dadurch vielfältige Probleme der Medizin, Chemie, Maschinenbau, Informationstechnik, Meteorologie und vieler anderer Gebiete löste.

Die Idee von der Leistungsfähigkeit der Produktionsumwege ist auch das Wesensmerkmal der modernen Volkswirtschaften geworden, in der technisches und wirtschaftliches Handeln eng verschmolzen sind. Der Gradmesser für den Entwicklungs-

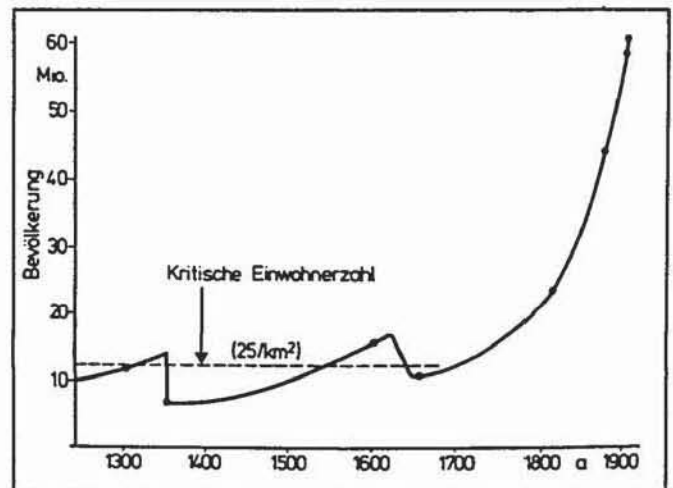
stand einer Volkswirtschaft sind die Ressourcen an Rohstoffen, Arbeitskräften, know how, Methoden und Produktionsmitteln. Die Summe all dieser Hilfsmittel bezeichnet man als das investierte Kapital einer Volkswirtschaft. So schreibt Böhm-Bawerk: "Das Kapital aber ist nichts anderes als der Inbegriff der Zwischenprodukte, die auf den einzelnen Etappen des ausholenden Umweges zur Entstehung kommen" [15]. Walter Eucken nennt die Erfahrungsregel, daß durch Produktionsumwege die Ergiebigkeit gesteigert werden kann, das 'Gesetz von der Mehrergiebigkeit der Produktionswege' [16].

Haben wir bisher die Gemeinsamkeiten der vitalen und der technischen Evolution analysiert, so wird im Folgenden auf einen spezifischen Unterschied eingegangen, der zur langfristigen Existenzsicherung der Menschheit zunehmend an Bedeutung gewinnt. Wir haben oben beschrieben, wie die Lebewesen in Wechselwirkung stehen und sich gegenseitig ergänzen. Zur Aufrechterhaltung der Wechselwirkungen, bei denen Stoffe, Informationen und Energie transportiert werden, besitzt jedes Lebewesen einen Aus- und Eingang. Da bei diesem Transportfluß die wesentlichsten Zustandsgrößen im Gleichgewicht gehalten werden, spricht man von einem Fließgleichgewicht, bei dem die Struktur konstant bleibt, nicht aber die Transportgrößen. Nur über Jahrtausende verändert die Natur ihre Struktur, wobei die jeweiligen (temporären) Fließgleichgewichte Zwischengleichgewichte auf dem Weg zum endgültigen Gleichgewicht darstellen. Ähnlich stellt sich der Sachverhalt in der Technik dar. Technologien in der weiterverarbeitenden Industrie sind auf die Produktionsergebnisse der Rohstoffindustrie angewiesen so wie die Konsumgüterindustrie auf die Investitionsgüterindustrie usw.. Aber nicht nur zwischen den Technologien bestehen vielfältige Wechselbeziehungen, sondern die Rohstoffindustrie nutzt beispielsweise die Rohstoffe der Natur oder gibt Emissionen an die Natur ab. Doch sind die Strukturen der Technik von wesentlich kürzerer Dauer als die der Natur. Auch ist es bisher noch nicht gelungen, geregelte Fließgleichgewichte mit der Natur herzustellen. Ist es der Natur gelungen, einen Kreislauf aufzubauen, der für alle genutzten Stoffe eine adäquate Weiterverwendung sichert, so ist ein Ökologie-Technik-Ökologie-Kreislauf noch im Entwicklungsstadium. Wird es einmal gelingen, diesen Kreislauf zu schließen – und dies ist notwendig, damit die Natur, auf die der Mensch angewiesen ist – nicht zerstört wird, so zeigt sich schon jetzt, daß auch dies nur über eine Ausweitung des Umweges möglich ist.

2.2 Von der dezentralen zur zentralen Energieversorgung

Zur Befriedigung seiner Bedürfnisse nutzte der Mensch zu Beginn seiner Entwicklung seine eigene Muskelkraft und regenerative Energieströme, wie beispielsweise die direkte Sonnenstrahlung, den Wind und die Biomasse [17]. Reichten in den vorindustriellen bäuerlich-ländlichen Kulturen, in denen über Jahrhunderte die Bevölkerungszahl durch ein zyklisches Ansteigen und katastrophenhafte Zusammenbrüche (Kriege, Seuchen, Hungersnöte) bis zu einer Grenze von ca. 25 Menschen pro km² (Abb. 2) quasi konstant gehalten wurde, die regenerativen Energieströme zur Deckung der lokalen Energienachfrage aus, so zeigte sich aber sehr bald, daß mit der beginnenden Industrialisierung gegen Ende des 18. Jahrhunderts die Überlebensgrenze hinausgeschoben wurde. Damit konnten auch die lokalen regenerativen Energieströme die lokale Energienachfrage mit den damals vorhandenen Nutzungstechniken nicht mehr decken. Es wurde deutlich, daß die zunehmende Arbeitsteilung der industrialisierten Prozesse auch eine differenziertere, umfangreichere Energieversorgung benötigte, um ein ausreichendes Energieangebot auch dort zu gewährleisten, wo durch industrielle Prozesse die Energienachfrage über dem lokalen Energieangebot lag. Besonders eindrucksvoll ist die Nutzung technischer Entwicklungen in der Landwirtschaft und im Verkehrssektor [18]: So

Abb. 2: Bevölkerungswachstum in Deutschland (Grenzen von 1937)



wäre die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion zur Ernährung der in diesem Zeitraum schnell wachsenden Weltbevölkerung nicht denkbar gewesen ohne die Einführung von Traktoren, die Pferde und Maultiere als Energiequelle ablösen. In Abb. 3 ist diese Entwicklung für Deutschland dargestellt. Auch im Transportbereich wurden die bis dahin traditionellen Systeme wie Segelschiffe und Pferdekutschen durch neue, kostengünstigere, aber auch energieintensivere Systeme, wie das Dampf- und Motorschiff und die Eisenbahn, abge-

Abb. 3: Historische Entwicklung der Leistung von Pferden und Traktoren in der deutschen Landwirtschaft

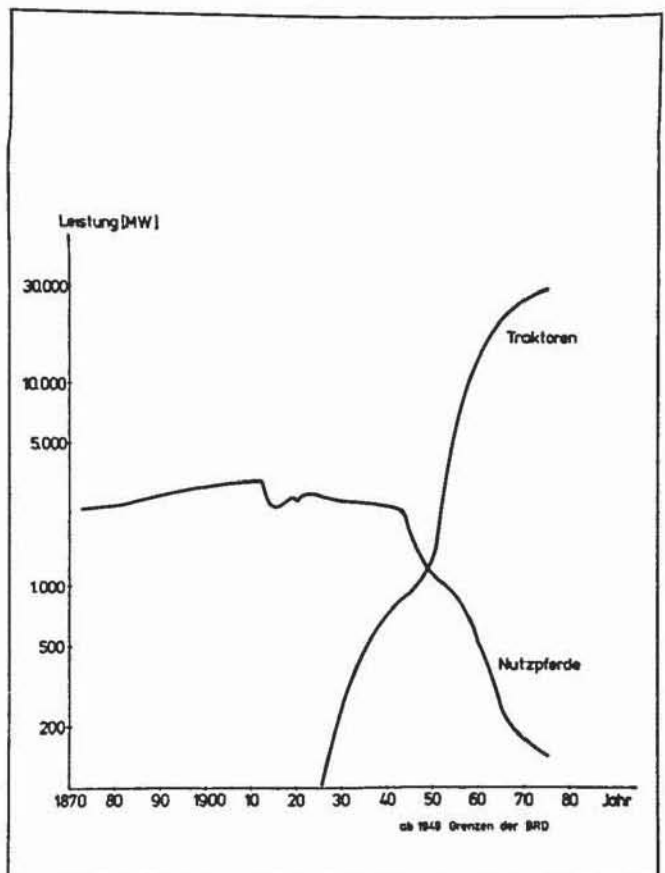
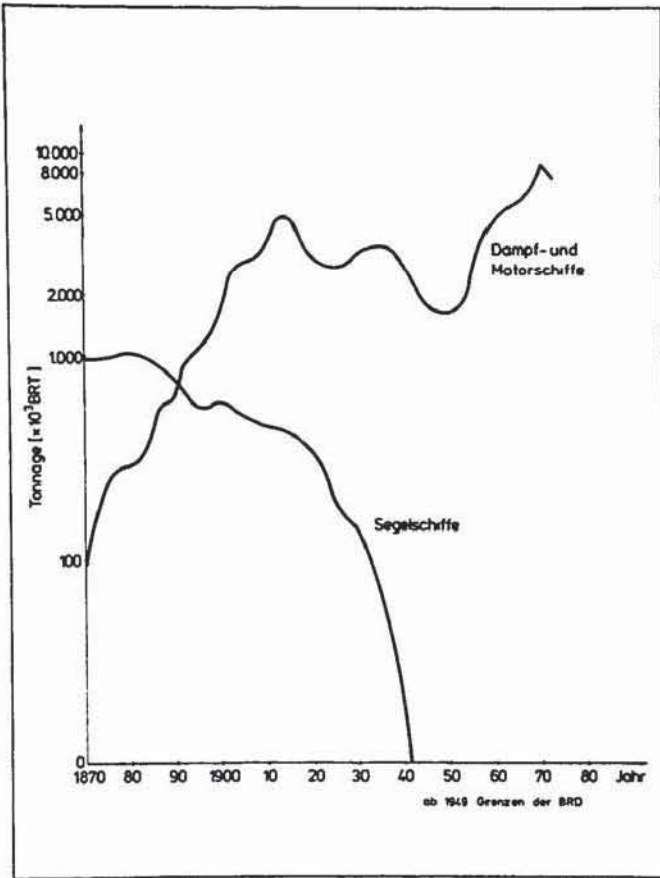
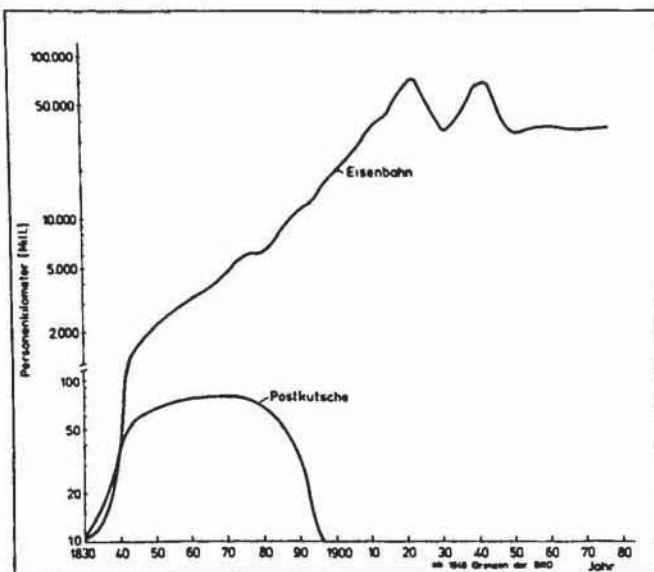


Abb. 4:
Historische Entwicklung der Tonnage von Segelschiffen,
Dampf- und Motorschiffen in Deutschland



löst (Abb. 4 und 5). Die Entwicklung neuer Techniken ermöglichte es den Menschen, Dinge zu tun, die sie vorher nicht tun konnten. Was aber vielleicht noch wichtiger war: Man konnte dieselben Dinge in wesentlich kürzerer Zeit tun. So reduzierten z.B. neue Transportsysteme die Reisezeit ganz erheblich und die landwirtschaftliche Produktion pro Arbeitsstunde stieg beträchtlich. Aber all dies erforderte einen erhöhten Energieeinsatz. Einen Energieeinsatz, der von den traditionellen lokalen

Abb. 5:
Historische Entwicklung der Personenkilometer von Postkutschen
und Eisenbahnen in Deutschland



Energieträgern nicht bereitgestellt werden konnte. Die Lösung des damaligen Energieversorgungsproblems brachte die Kohle, die bis zum Ende des 19ten Jahrhunderts schnell zum dominierenden Energieträger wurde. Mit dem Eintritt in das Kohlezeitalter vollzog sich eine tiefgreifende Änderung der Energieversorgung – weg von einer lokalen, auf regenerierenden Energieströme aufbauenden Versorgung, hin zu einer überregionalen Versorgung mit einem umfangreichen Transport- und Verteilungssystem. Da die Vorkommen der Kohle und die Orte des Energieverbrauchs örtlich auseinanderlagen, war dies auch zwangsläufig ein erster Schritt zu einer zentralen Energieversorgung.

Im weiteren Verlauf der Entwicklung der Energieversorgung, die durch einen stetig wachsenden Verbrauch und durch die Markteinführung und Ausweitung des Erdöls und des Erdgases in den 50er und 60er Jahren gekennzeichnet war, sind die heutigen Energieversorgungsstrukturen mit ihren umfangreichen nationalen und weltweiten Transport- und Verteilungssystemen entstanden. Die Energieversorgung stellt sich heute als ein arbeitsteiliges, komplexes, weltweit vermaschtes Netzwerk von Gewinnungs- und Umwandlungsanlagen, Transport- und Verteilungs- sowie Speichersystemen dar, dessen zuverlässige Funktion für eine moderne Industriegesellschaft lebensnotwendig ist.

Aus der Geschichte der Energieversorgung bleibt festzuhalten, daß für den Übergang von den lokalen und damit dezentralen Energieversorgungssystemen der vorindustriellen Zeit hin zu der heutigen zentralen Energieversorgung maßgebend war, daß die damalige lokale, vornehmlich auf Holz, landwirtschaftlichen Abfällen, Wind und Wasserkraft beruhende Energieversorgung nicht in der Lage war, einen mit wachsender Bevölkerung steigenden Bedarf mit höheren Energiebedarfsdichten zu decken. Der Übergang zur Kohle und später zu Erdöl und Erdgas bedingte nahezu zwangsläufig den Aufbau zentraler Systeme, um der gesamten Bevölkerung die neuen Energiequellen verfügbar zu machen.

2.3 Vom Kleinkraftwerk zum Großkraftwerk

War das regenerative lokale Energieangebot unzureichend, um den zunehmenden Energiebedarf zu decken und wurden infolgedessen überregionale, weltweite Energieversorgungssysteme notwendig, so ist hiermit noch nicht zwangsläufig der Bau von großtechnischen Energieumwandlungsanlagen verbunden, wie beispielsweise der Bau von Großkraftwerken und Raffineriekomplexen. Dies bedeutet, daß noch weitere Faktoren für die Entwicklung zu größeren Anlagen hin verantwortlich sind. Am Beispiel der Elektrizitätswirtschaft soll dies näher untersucht werden, da gerade dieser Sektor der Energiewirtschaft hinsichtlich seiner Anlagengröße von den Befürwortern des "sanften Weges" kritisiert wird. Außerdem ist über diesen Sektor umfangreiches empirisches Material verfügbar.

Die Elektrizitätsversorgung zu günstigen Preisen zu sichern, ist Hauptziel der Elektrizitätswirtschaft. Sie leitet hieraus die Aufgabe ab, die wesentlichsten Kosteneinflußgrößen, wie

- Baumaterialaufwand
- Brennstoffverbrauch
- Flächennutzung und
- Personaleinsatz

möglichst gering zu halten und darüber hinaus im Rahmen des Verbundsystems die Vorteile des

- Gleichzeitigkeitsfaktors und der
 - Reservehaltung
- zu nutzen.

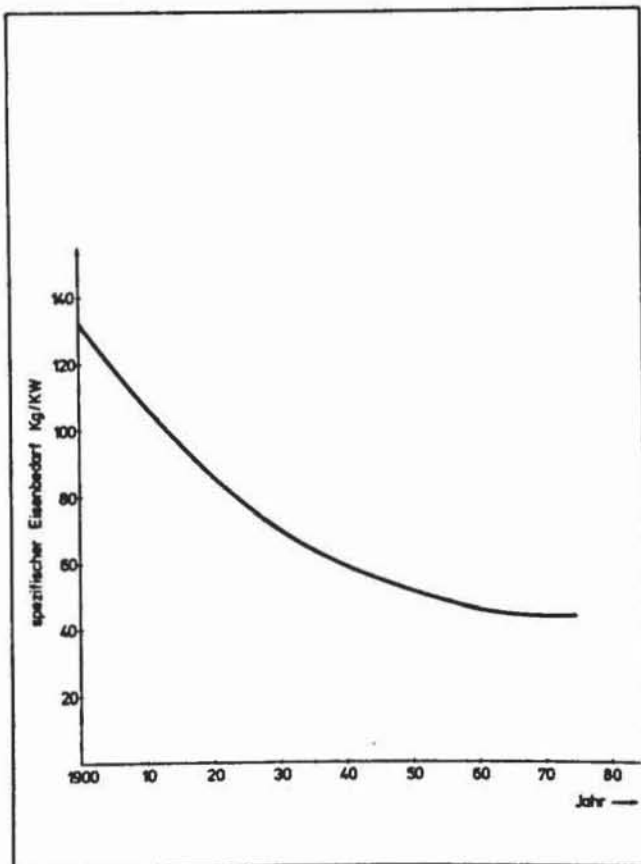
Wie sich diese Einflußgrößen in der Vergangenheit aufgrund technischer Neuerungen in Abhängigkeit der Kraftwerksleistung entwickelt haben, wird in diesem Kapitel untersucht.

Bevor die Einflußgrößen analysiert werden, sei an die vergangene Leistungsentwicklung der Elektrizitätswirtschaft kurz erinnert. Ein Blick in die Geschichte zeigt, daß in Deutschland, aber auch in anderen industrialisierten Ländern, die Leistung je Kraftwerk von 1885 bis heute erheblich gesteigert werden konnte. Lag die Leistung der ersten Kraftwerke noch unter 500 kW, so wurde die Leistung kontinuierlich von 10 MW (1900), 50 MW (1952), 150 MW (1955), 300 MW (1965) und 1300 MW (1975) ausgebaut [19]. Ursache dieser Leistungssteigerung waren im wesentlichen eine verbesserte Prozeßführung (z.B. Zwischenüberhitzung) und eine Festigkeitssteigerung warmfester Stähle, so daß die relevanten leistungssteigernden Prozeßparameter Druck und Temperatur auf ein Vielfaches gesteigert werden konnten (1900: 13 bar, 275°C, 1970: 160 bar, 540°C) [20]. Ist die Leistungssteigerung um das 2600-fache innerhalb der letzten 100 Jahre auch gewaltig, so ist sie im Zusammenhang mit der hier zu diskutierenden Problematik der Dezentralität nur in Relation zu anderen Größen, z.B. der Entwicklung der Elektrizitätserzeugung oder der Größe des elektrischen Netzes, von Bedeutung. So wuchs beispielsweise in dem selben Zeitraum das elektrische Versorgungsnetz, ausgehend von ca. 6,5 km in Berlin zur Versorgung von wenigen Hausblöcken und Straßen, auf eine Länge von 65.000 km Hochspannungsleitungen in der Bundesrepublik Deutschland an (10.000-fache Vergrößerung).

2.3.1 Baumaterialaufwand und Kraftwerksleistung

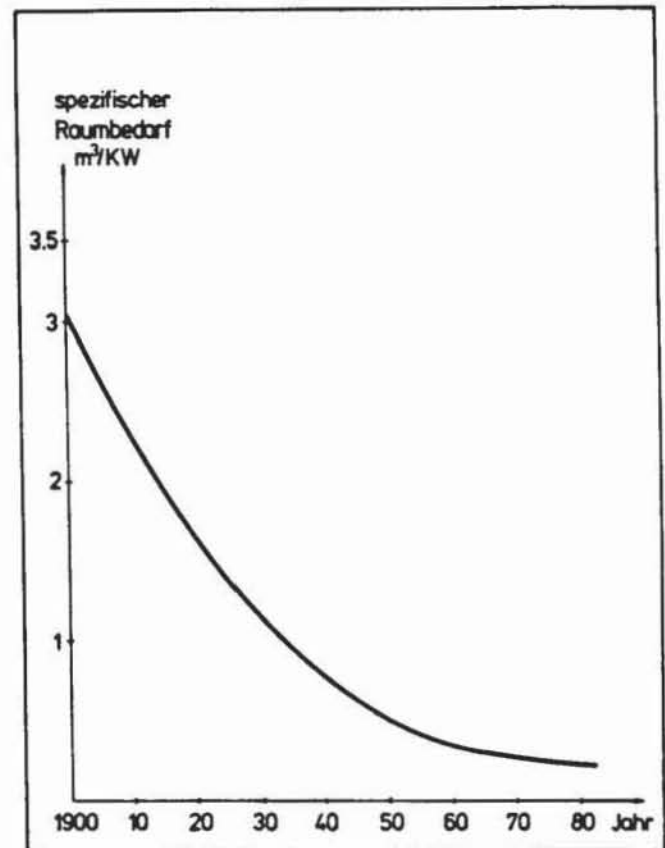
Bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Baumaterialaufwand und der Kraftwerksleistung zeigt sich, daß die

Abb. 6:
Historische Entwicklung des spezifischen Eisenbedarfs im Kraftwerksbau



Leistungsentwicklung zu einer Reduzierung des spezifischen Baumaterialaufwandes führte. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, daß mit steigender Leistung der Materialaufwand für die materialintensiven Bauteile, wie Wärmetauscher, Turbomaschinen, leittechnische Einrichtungen etc., nur unterproportional anwächst. Abb. 6 zeigt, daß mit steigender Kraftwerksleistung der spezifische Eisenbedarf auf rd. ein Drittel innerhalb von 75 Jahren gesenkt werden konnte. Im wesentlichen ist dies auf die technische Entwicklung zurückzuführen, die durch Materialverbesserungen die Leistungs- und Energiedichte der Kraftwerke steigerte, wodurch der spezifische Raumbedarf und damit auch der spezifische Materialaufwand zur Umbauung des Kraftwerkes reduziert wurden (Abb. 7) [21].

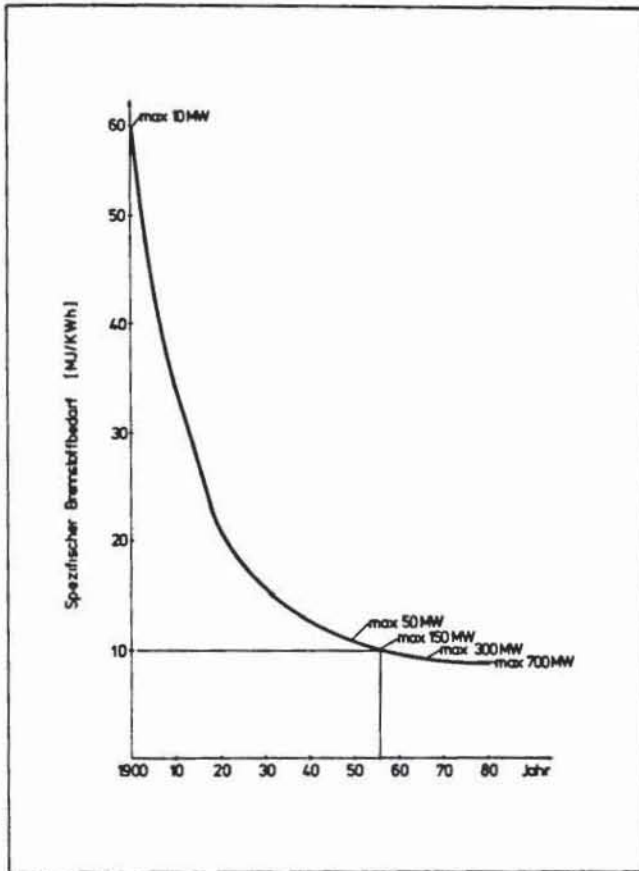
Abb. 7:
Historische Entwicklung des spezifischen Raumbedarfs im Kraftwerksbau



2.3.2 Brennstoffbedarf und Kraftwerksleistung

Die Reduzierung des spezifischen Brennstoffbedarfs war zur Senkung der Brennstoffkosten, der Schadstoffbelastungen und der Kühlwasserströme ein permanentes Ziel der Elektrizitätswirtschaft. Wie dieses Ziel in der Vergangenheit realisiert wurde, zeigt der Trend in Abb. 8, der aus einer großen Anzahl von Veröffentlichungen ermittelt wurde, deren Angaben sehr schwanken [22]. Lag der spezifische Brennstoffbedarf bei einer Kraftwerksleistung von 10 MW um 1900 noch bei rd. 60 MJ/kWh, so konnte dieser in den fossil gefeuerten öffentlichen Wärmekraftwerken bei steigender Kraftwerksleistung (um 1980 750 MW) auf 10 MJ/kWh reduziert werden. Dieser geringere spezifische Brennstoffbedarf ist darauf zurückzuführen, daß mit dem Durchsatz größerer Dampfmenigen bei größeren Einheiten die Leck- und Randverluste in der Turbine absinken und die i.d.R. mit einer Leistungssteigerung verbundenen voluminöseren Rohrleitungen eine spezifisch geringere Abstrah-

Abb. 8:
Historische Entwicklung des spezifischen Brennstoffbedarfs
in öffentlich fossil gefeuerten Wärmekraftwerken

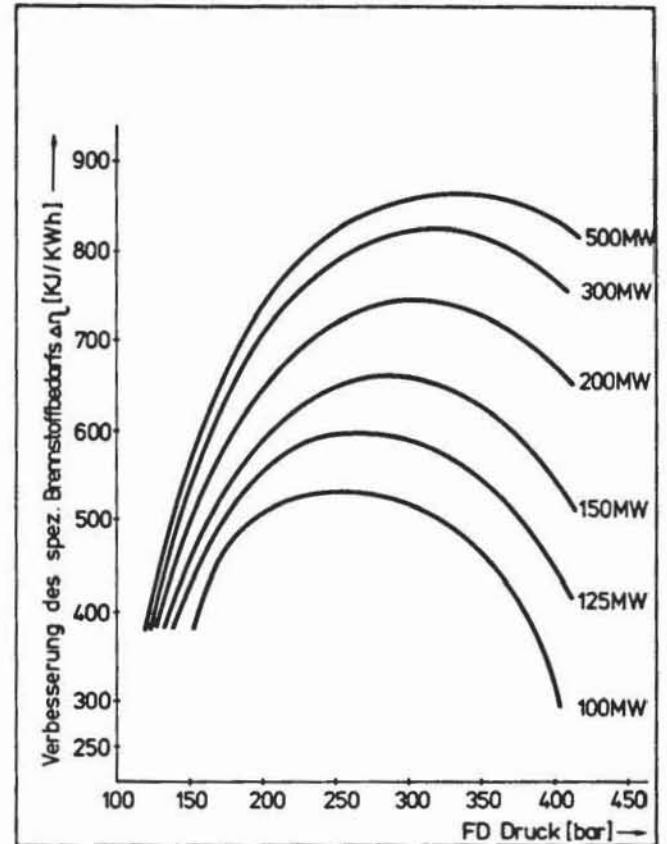


lung verursachen, da die Leistungssteigerung mit dem Exponenten 3 und die Oberfläche (Abstrahlungsfläche) nur mit dem Exponenten 2 steigt. Anschaulich zeigt Abb. 9 die Verbesserung des spezifischen Brennstoffbedarfs in Abhängigkeit von der Kraftwerksleistung, aufgetragen über den Frischdampfdruck für einen in seinen sonstigen Parametern konstantgehaltenen Prozeß. Nach dieser Darstellung ergibt sich eine Verbesserung des spezifischen Brennstoffbedarfs bei einem 300 MW-Block gegenüber einem 100 MW-Block um etwa 250 kJ/kWh (FD-Druck 250 bar).

2.3.3 Flächennutzung und Kraftwerksleistung

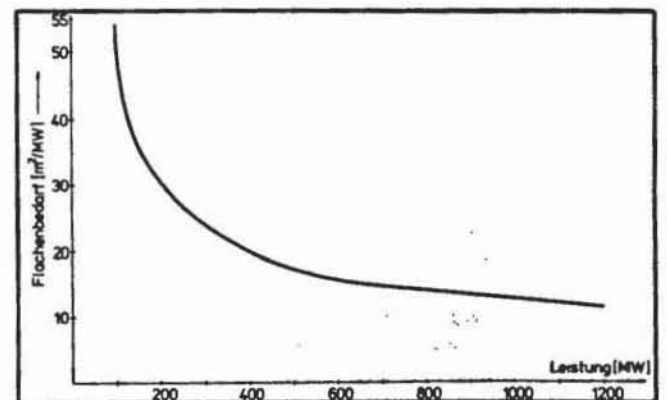
In einem dichtbesiedelten Land wie die Bundesrepublik Deutschland, in der die Wald- und Wiesenflächen zunehmend der Stadtausdehnung, den Industrieansiedlungen und dem Autobahnausbau weichen, tritt der Konflikt um eine alternative Bodennutzung in Erscheinung. Um diesen Konflikt zu minimieren, sollte es auch das Ziel der Industrieansiedlungspolitik und damit der Kraftwerksplanung sein, die spezifische Bodennutzung so gering wie möglich zu halten. Es mag deshalb in der Vergangenheit auch ein Motiv gewesen sein, mit steigender Leistung den spezifischen Flächenbedarf zu senken. Abb. 10 zeigt deutlich, daß der spezifische Flächenbedarf eines Kraftwerkes mit steigender Leistung stark abnimmt. Dies bedeutet zum Beispiel, daß ein 1200 MW-Kraftwerk einen Flächenbedarf hat, der rd. 5 mal kleiner ist als der von zwölf 100 MW Kraftwerken. Dies ist dadurch begründet, daß jedes Kraftwerk unabhängig von der Leistung fast identische Bauteile gleicher Art benötigt; die Flächenausdehnung somit bei zunehmender Leistung nur unterproportional zunimmt. So besteht beispiels-

Abb. 9:
Verbesserung des spezifischen Brennstoffbedarfs mit steigender Größe des Turbosatzes (Bei einem in seinen sonstigen Parametern festgehaltenen Prozeß)



weise die Turbine eines Kraftwerkes aus einem Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruckteil, die gemeinsam bei Kraftwerken kleiner Leistung (ca. 100 MW) in einem Turbinengehäuse untergebracht werden können. Hingegen benötigt ein 1200 MW-Kraftwerksblock zwar 5 Gehäuse, um den Dampfstrom volumenmäßig beherrschen zu können, doch insgesamt sind bei einem Kraftwerk mit zwölf 100 MW-Blöcken sieben Gehäuse in etwa gleicher Größe mehr erforderlich als bei einem 1200 MW Kraftwerk [23]. So konnte seit 1920 bis heute der spezifische Grundflächenbedarf um 94 Prozent gesenkt werden [24].

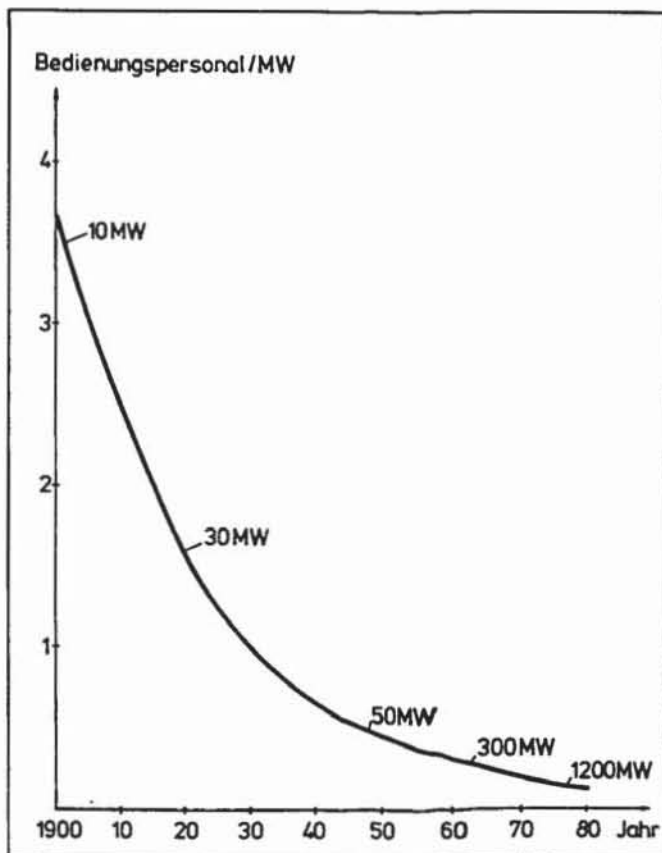
Abb. 10:
Flächenbedarf von Steinkohle-Kraftwerken in Abhängigkeit der Leistung



2.3.4 Personaleinsatz und Kraftwerksleistung

Durch den Einsatz von Maschinen und die Automatisierung von Arbeitsabläufen kann der Mensch von der körperlichen Schwerarbeit befreit werden. Wie dies im Kraftwerkssektor bei gleichzeitiger Leistungssteigerung erreicht wurde, verdeutlicht Abb. 11 [25]. Lag die Kraftwerksleistung um 1900 noch bei rd. 10 MW, so wurden pro MW-Kraftwerksleistung rd. 4 Personen zur Kraftwerksbedienung benötigt. Anders sieht das Bild im Jahre 1975 aus. Etwa 0,15 Personen pro MW-Kraftwerksleistung reichen aus, um ein Kraftwerk mit einer Leistung von 1200 MW zu betreiben [26]. Wurden in der Vergangenheit die Mitarbeiter zur Beschickung von Kesselanlagen usw. eingesetzt, so übernehmen sie heute, aufgrund zunehmender Automatisierung und verbesserter Meß- und Regeleinrichtungen, überwiegend Steuerungs- und Kontrollfunktionen. Hierdurch wurde der Personalbedarf weitestgehend von der Leistungsgröße eines Kraftwerkes getrennt, da die Arbeit in gleichem Umfang unabhängig von der Leistungsgröße anfällt. Dies bedeutet, daß ein Großkraftwerk nicht mehr Mitarbeiter (Beschäftigungsstunden) benötigt als ein Kleinkraftwerk, und deshalb die Produktivität der Mitarbeiter eines Großkraftwerkes größer ist als die Produktivität in einem Kleinkraftwerk.

Abb. 11:
Historische Entwicklung des Bedienungspersonaleinsatzes in Kraftwerken



Die bisherigen Ausführungen dieses Kapitels sollten einige technische Gründe aufzeigen, die den vergangenen Trend zu größeren Einheiten in der Energietechnik erklären. Mit dem Ausbau der Kraftwerksleistung und dem Zubau größerer Leistungseinheiten wurde aber auch der Aufbau eines Verbundnetzes notwendig. Einerseits wurde hierdurch die Distanz zwischen dem Verbrauchs- und Erzeugungsstandort immer größer, andererseits entstand die Möglichkeit, die Wasserkräfte im

süddeutschen Raum über die regionale Elektrizitätsnachfrage hinaus zu nutzen und den teureren Braun- und Steinkohletransport durch einen Elektrizitätstransport zu ersetzen [27]. Aber nicht nur diese Überlegungen führten zum Ausbau des Verbundnetzes, sondern darüber hinaus ergaben sich noch zwei weitere Gründe, die es unter dem Aspekt der rationellen Ausnutzung der Kraftwerksleistung zu berücksichtigen gilt: die Gleichzeitigkeit der Elektrizitätsnachfrage und die Reservehaltung von Kraftwerkskapazitäten.

2.3.5 Gleichzeitigkeitsfaktor und Kraftwerkskapazität

Da elektrische Energie großtechnisch nicht speicherbar ist, ist die Kraftwerksleistung in einem Verbund von dem zeitlichen Verlauf des Strombedarfs der einzelnen stromverbrauchenden Sektoren, wie z.B. der Industrie und der Haushalte, abhängig.

Gemeinsam ist den einzelnen Verbrauchern, daß sie ihre jeweils installierte elektrische Anschlußleistung (z.B. die Summe aller elektrischen Geräte eines Haushaltes) nicht permanent zu 100 % nutzen, sondern über die Jahres- und Tageszeiten verstreut in Anspruch nehmen. So nutzen beispielsweise die Haushalte Elektrizität morgens überwiegend zu Lichtzwecken, mittags zu Kochzwecken und abends wiederum zu Lichtzwecken. Diese unterschiedliche Inanspruchnahme der elektrischen Anschlußleistung führt dazu, daß nicht alle Verbraucher gleichzeitig ihre volle Anschlußleistung nutzen, sondern nur immer ein bestimmter Teil. Dieser Sachverhalt der nicht gleichzeitigen Benutzung aller verfügbaren Geräte führt auf der Kraftwerksseite dazu, daß die maximal zu installierende Leistung erheblich geringer sein kann als die Summe der installierten Einzelleistungen aller elektrischen Geräte. So nutzen beispielsweise nur 40-50 Prozent aller Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland mit Elektroherd ihre Geräte gleichzeitig (Gleichzeitigkeitsfaktor). Dieser Sachverhalt wird auch dadurch deutlich, daß z.B. 1972 in allen Haushalten der Bundesrepublik mehr als das 5-fache der installierten Kraftwerksleistung an Hausgeräten vorhanden war (285,3 GW zu 54 GW) [28].

Diese Situation in der Elektrizitätswirtschaft ist charakteristisch für die gesamte Energieversorgung. Bei einer dezentralen Energieversorgung, bei der die Endenergie am Ort des Verbrauchs erzeugt wird und kein Energieverbund besteht, muß der Verbraucher seine installierte Leistung auf seine Verbrauchsspitzen ausrichten. Die Leistungsspitzen können damit nicht mehr in einem überregionalen Verbund, sondern nur noch im Rahmen zeitlich veränderter Konsumgewohnheiten eines Verbrauchers verstetigt werden. Hierdurch wird die Gültigkeit des Gleichzeitigkeitsfaktors weitestgehend aufgehoben. Infolgedessen muß eine dezentrale Energieversorgung ein Mehrfaches an installierter Energieumwandlungskapazität bereitstellen als eine zentrale Energieversorgung. Damit würde der Rohstoffbedarf um ein Vielfaches steigen.

2.3.6 Reservehaltung und Kraftwerkskapazität

Ein wesentliches Ziel der Energieversorgung (so auch der Stromversorgung) ist die jederzeitige störungsfreie Deckung der Energienachfrage, unabhängig von einer dezentralen oder zentralen Versorgung. Dies bedeutet bei einem Ausfall von Anlagen, daß Nichtverfügbarkeitszeiten überbrückt werden müssen. Die Nichtverfügbarkeitszeiten setzen sich zusammen aus den geplanten Stillständen, z.B. für Wartungen und Reparaturen, sowie aus den unvorhersehbaren Ausfällen.

Gehen wir nun einmal modellhaft von einer ausschließlich dezentralen Elektrizitätsversorgung ohne jegliches Verbundsystem aus, so wird deutlich, daß bei einer dezentralen Elektrizitätsversorgung eine Reservehaltung vorgenommen werden

muß, die dem maximalen Leistungsbedarf entspricht. Um keine Unterdeckungslücken aufkommen zu lassen, ist eine 100-prozentige Reservehaltung notwendig, die selbst bei vollständiger Realisierung nicht die gleiche Versorgungssicherheit bieten könnte wie eine zentrale Versorgung. Zwar entstehen bei einer zentralen Energieversorgung ebenfalls Nichtverfügbarkeitszeiten, da aber nicht alle Kraftwerke zur gleichen Zeit ausfallen, ist eine geringere Reservekapazität notwendig. So zeigen langjährige Erfahrungen und Wahrscheinlichkeitsrechnungen, daß eine rd. 20prozentige Reservekapazität im Verbund ausreichend ist [29].

2.4 Fazit

Die ersten Ausführungen befaßten sich mit einer Analyse des Evolutionsprinzips der Natur. Hierbei wurde durch Analogien beschrieben, wie die Technik sich aus der gleichen Naturgesetzlichkeit heraus entfaltet hat, die auch für die vitale Evolution maßgeblich war.

Weiterhin wurde am Beispiel der historischen Entwicklung der Elektrizitätsversorgung deutlich, daß die Energiewirtschaft durch den Übergang von dezentralen Versorgungsstrukturen zu zentralen Versorgungsstrukturen und durch die Entwicklung vom Klein- zum Großkraftwerk schon immer das Ziel verfolgt hat, die vorhandenen Ressourcen rationell zu nutzen.

Zuletzt sei an einem weiteren Beispiel dargelegt, inwieweit die Forderung nach Dezentralität dem Ziel einer besseren Energienutzung widerspricht. Hochhäuser und Massenverkehrsmittel als typische Großtechniken sind nachweislich energie günstiger als der Einfamilienbungalow und der PKW, doch werden die letzteren aus sozialen und persönlichen Präferenzen bevorzugt.

Worauf es ankommt, ist nicht "Zentralität" oder "Dezentralität". Diese Kategorien sind keine relevanten Bewertungsmaßstäbe an sich, sondern es kommt darauf an, eine Technologie zu entwickeln, die den jeweiligen Lebensverhältnissen des Menschen angepaßt ist. Wenn dies geschieht, haben "Zentralität" und "Dezentralität" oder "Groß" und "Klein" keine Bedeutung mehr.

3. Ein sanftes Energieszenarium für die Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2030

Wurde bei der Analyse der historischen Entwicklung der Energieversorgung deutlich, daß mit den damaligen Techniken zur Nutzung regenerativer Energieflüsse keine ausreichende Energiebedarfsdeckung erzielt werden konnte, so stellt sich die Frage,

- ob sich die Techniken zwischenzeitlich derart weiterentwickelt haben, daß dezentrale, regenerative Energieströme den Energiebedarf einer hochindustrialisierten Region, wie die der Bundesrepublik Deutschland, langfristig decken können.

Zur Beantwortung dieser Frage wird im Folgenden ein "sanftes Energieszenarium" für das Jahr 2030 entworfen. Dieses Jahr wurde gewählt, da die Vergangenheit gezeigt hat, daß eine Übergangszeit von ca. 50 Jahre notwendig ist, bis eine bestehende Energieversorgungsstruktur durch eine neue Energieversorgungsstruktur ersetzt werden kann und auch die Befürworter des "sanften Weges" diesen Zeitraum für ihre Berechnungen zugrunde legen

Bei diesem Szenariumentwurf sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß es sich nicht um eine Prognose handelt, sondern um ein quantifiziertes Gedankenexperiment, inwieweit eine ausschließlich auf "sanften Energietechniken" aufbauende Energieversorgung unseres Landes möglich ist und welche

Probleme damit verbunden sind. In Anbetracht der Unsicherheiten, die mit jeder Aussage, die sich auf langfristige Zeiträume bezieht, verbunden sind, kommt es nicht auf die im einzelnen angegebenen Zahlen an, sondern auf die Größenordnung, die diese Zahlen repräsentieren. Auch wenn im Einzelfall erhebliche Abweichungen nach oben oder unten möglich sind, behalten trotzdem die aus den Berechnungen gezogenen grundsätzlichen Schlußfolgerungen ihre Gültigkeit.

3.1 Energienachfrage

Bei der Untersuchung der Frage, ob eine ausschließlich "sanfte" Energieversorgung unseres Landes überhaupt möglich ist, stellt sich zunächst die Frage nach dem Energiebedarf im Jahre 2030. Wenn überhaupt, so kann man den Energiebedarf nur im Zusammenhang mit einer Fülle von Grundannahmen, z.B. über evtl. gesellschaftliche Normenveränderungen, Bevölkerungsentwicklung sowie sektorale Strukturentwicklungen, abschätzen, wobei die getroffenen Annahmen aufgrund der Unsicherheiten selbst wieder in Frage gestellt werden können.

Bei der Ermittlung des Energiebedarfs sind wir von vergleichsweise niedrigen Zuwachsraten und damit günstigen Annahmen für die "sanften" Energiesysteme ausgegangen. Doch interpretiert man die von A. Lovins gemachte Aussage, daß "eine ausschließlich auf sanften Energieformen beruhende Versorgung auch langfristig durchführbar" ist, "unabhängig davon, ob die von 2000 bis 2025 gezeigte Schrumpfung des Energiebedarfs eintritt oder nicht" [30], so sind die zentralen Thesen des "sanften Weges" keineswegs a priori nur für niedrige Energiebedarfsentwicklungen gültig.

Folgende Grundannahmen wurden getroffen:

- Es werden keine Kriege stattfinden, die eine ausreichende Energiebedarfsdeckung illusorisch erscheinen lassen.
- Die Weltwirtschaftsordnung wird zu keiner Einschränkung des internationalen freien Handels führen.
- Der privatwirtschaftliche Planungs- und Entscheidungsprozeß wird weiterhin dominieren, im Rahmen des bestehenden Ordnungssystems wird der Staat flankierend in das Marktgeschehen eingreifen.
- Rückgang der Wohnbevölkerung von 61 auf 53 Mill. Menschen im Jahre 2030.
- Wachstum des Bruttosozialprodukts pro Einwohner um den Faktor 3.
- Leichte Tendenz zur Ausweitung des Dienstleistungssektors.

Zur Detaillierung dieser Grundannahmen werden folgende sektorale Annahmen über weitere Einflußfaktoren der Energiebedarfsentwicklung einschließlich der Energiesparmaßnahmen auf der Basis einer Analyse der Letztverwendungszwecke der Energie (Energiedienstleistung) zur Produktion von Gütern und der Bereitstellung von Dienstleistungen getroffen:

Industrie:

Die Wachstumsraten der Nettoproduktionsentwicklung in der Industrie werden langfristig abnehmend sein. Die Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie und die Investitionsgüterbranche wird sich zu Lasten der Verbrauchsgüterindustrie und des Nahrungs- und Genussmittelgewerbes weiter ausdehnen [31]. In Ergänzung zu den abnehmenden Wachstumsraten der Nettoproduktion wird unterstellt, daß bis zum Jahre 2030 durch verstärkte Energieeinsparmaßnahmen in der prozeßwärmeintensiven Grundstoffindustrie 30 % pro Nettoproduktionswert eingespart werden können und in der übrigen Industrie 20 % pro Nettoproduktionswert.

Kleinverbraucher:

Die Wachstumsimpulse wird der Kleinverbrauchssektor von dem Freizeit- und Beherbergungsgewerbe sowie dem Handwerk erhalten. Für den gesamten Sektor wird aber angenommen, daß dieser – ebenso wie die Industrie – abnehmende Nettoproduktionsraten aufweisen wird [32]. Weiterhin wird davon ausgegangen, daß durch eine Verbesserung des spezifischen Nutzungsgrades bei der Raumheizung 40 % und bei der Prozeßwärme 30 % an Energie eingespart werden können.

Verkehr:

Die Verkehrsleistung wird im Individualverkehr aufgrund der geburtenstarken Jahrgänge bis um die Jahrhundertwende noch leicht ansteigen, dann aber in eine Sättigung übergehen. Die Güterverkehrsleistung wird durch die steigende Industrieproduktion leicht zunehmen. Bedingt durch steigende Benzinpreise und evtl. benutzerfreundlichere öffentliche Verkehrssysteme wird der öffentliche Verkehr an Bedeutung gewinnen. Durch Energiesparmaßnahmen wird der spezifische Energiebedarf im dominierenden Individualbereich von derzeit rd. 11 l/100 km auf 6 l/100 km im Jahre 2030 absinken.

Haushalte:

Folgende relevante Faktoren werden in Zukunft den Energiebedarf des Haushaltssektors bestimmen:

- Steigerung der Wohnfläche pro Kopf von derzeit rd. 30 m² auf 40 m²
- Abschließende Umrüstung von Einzelöfen auf Sammelheizungen in Altbauten.

Abb 12:

Energienachfragestruktur im Jahre 2030

Sektoren	Energiebedarf (TWh/a) für	
	Licht und mech. Energie (Endenergie)	Nutzwärme
Haushalte		
Ein- und Zweifamilienhäuser		
– Licht und Kraft (Strom)	44	165
– Wärme		
Mehrfamilienhäuser		
– Licht und Kraft (Strom)	29	109
– Wärme		
Kleinverbraucher		
– Licht und Kraft (Strom)	34	257
– Heiz- und Prozeßwärme		
Landwirtschaft		
– Licht und Kraft (Strom)	9	35
– Wärme		
Industrie		
– Licht und Kraft (Strom)	250	600
– Prozeßwärme		
Verkehr		
– elektrische Antriebe	18	429
– flüssige und gasförmige Kraftstoffe	429	
Σ	813	1166

- Verstärkte Umorientierung von Mehrfamilienhäusern zu Ein- und Zweifamilienhäusern.
- Verbesserung des spezifischen Nutzungsgrades um 50 % bei der Raumheizung und um 35 % bei der Licht- und Kraftnutzung.

In der Abb. 12 ist zusammenfassend für die verschiedenen Verbrauchssektoren und Verwendungszwecke der Energiebedarf für das Jahr 2030 eingetragen. Die Verbrauchssektoren wurden entsprechend den Hauptverbrauchergruppen unserer Volkswirtschaft unterteilt. Zudem wurde der Haushaltssektor in die Bereiche Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Mehrfamilienhäuser untergliedert, und im Kleinverbrauchssektor die Landwirtschaft gesondert ausgewiesen, da für diese Bereiche spezifisch zugeschnittene Energieangebotstechnologien eingesetzt werden. Weiterhin wurde der auf der Basis der Letztverwendungszwecke (Energiedienstleistung) ermittelte Energiebedarf untergliedert in einen Endenergiebedarf für Licht- und Kraftzwecke und einen Nutzwärmebedarf. Der Nutzwärmebedarf ergibt sich nach Abzug der Umwandlungsverluste der Heizungssysteme von dem Endenergiebedarf.

Das Ergebnis zeigt, daß die Industrie trotz abnehmender Nettoproduktionszuwächse bei aber gleichzeitig geringerem Energieeinsparpotential als in den Haushalten der dominierende Energienachfrager sein wird. Insgesamt ergibt sich für unser Szenarium ein Nutzwärmebedarf für Raumheizung, Warmwasserbereitung und industrielle Prozesse in Höhe von 1166 TWh/a und ein Endenergiebedarf an Elektrizität und flüssigen bzw. gasförmigen Kraftstoffen für den Verkehr in Höhe von 813 TWh/a. Die vergleichbaren Zahlen für das Jahr 1978 lauten 860 TWh/a Nutzwärme und 650 TWh/a Strom und Kraftstoffe.

3.2 Energieversorgungspotential

In der Einführung wurde dargelegt, daß die Vertreter des "sanften Weges" eine dezentrale regenerative Energieversorgung fordern. Würde diese Forderung realisiert, so würde das regenerative Energieangebot erheblich eingeschränkt, da beispielsweise das über die lokale Nachfrage hinausgehende örtliche Wind- und Wasserangebot ungenutzt bliebe. Dieser schon vom Ansatz her vorgezeichneten Unterbewertung des regenerativen Energieangebots folgen wir nicht, sondern legen den Begriff "dezentral" weiter aus, wodurch auch zentrale regenerative Systeme zum Tragen kommen, so daß das Potential der "sanften Energie" eher zu optimistisch eingeschätzt wird.

Im einzelnen handelt es sich um folgende Energiesysteme, die im Rahmen des "sanften Energieszenariums" betrachtet werden.

- Wasser- und Windkraftwerke zur Elektrizitätserzeugung.
- Solarsysteme zur Wärmebereitstellung in Ein- und Zweifamilienhäusern.
- Solarsysteme mit dieselmotorbetriebener Wärmepumpe zur Wärmebereitstellung in Mehrfamilienhäusern, im Kleinverbrauchersektor und in der Industrie (< 100°C).
- Monovalente Motor/Generator-Anlagen zur Wärmebereitstellung in Mehrfamilienhäusern, im Kleinverbrauchersektor und in der Industrie (< 100°C), sowie zur Elektrizitätserzeugung als Koppelprodukt und
- Biokonversionsanlagen zur Erzeugung von flüssigen und gasförmigen Brennstoffen.

Im Folgenden wird das Angebot dieser potentiellen Energiesysteme zur Deckung des Energiebedarfs diskutiert. Die Auswahl und Zuordnung dieser Systeme zu den Verbrauchsbereichen erfolgt unter technischen Gesichtspunkten, wobei der Versuch unternommen wurde, auf der Basis der geringen

Energiedichten und zeitlichen Angebotsschwankungen der regenerativen Energiesysteme das maximal mögliche Angebotspotential abzuschätzen.

3.2.1 Wasserkraftwerke zur Elektrizitätserzeugung

Wasserkraftwerke sind ein fester Bestandteil unserer heutigen Energieversorgung. 1978 wurden 18,5 TWh/a Elektrizität aus Wasserkraft erzeugt. Wird das technische Ausbaupotential von großen und kleinen Flußläufen vollständig ausgeschöpft, so stehen im Jahre 2030 23,2 TWh/a zur Verfügung [33], wobei der überwiegende Teil von zugebauten kleinen Kraftwerken bereitgestellt wird. Nach den Transport- und Verteilungsverlusten verbleiben 22 TWh/a.

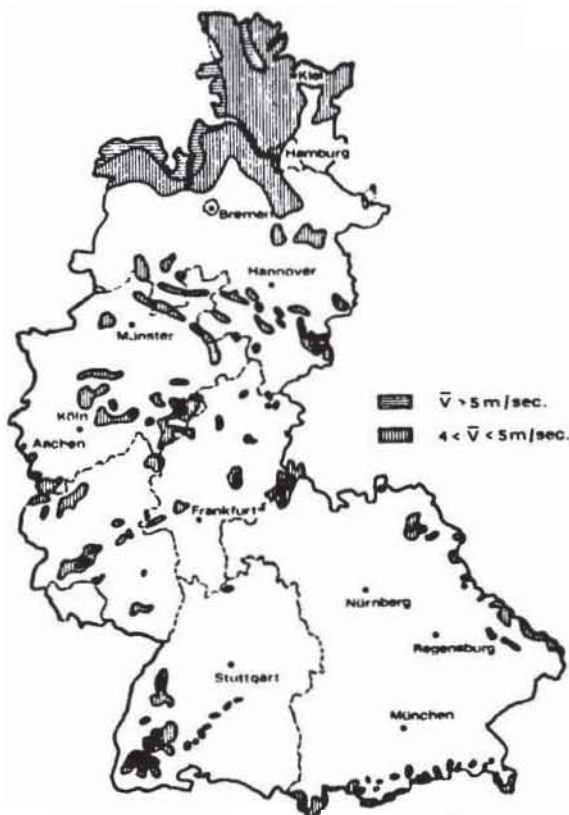
3.2.2 Windkraftwerke zur Elektrizitätserzeugung

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, Windkraftwerke in einem Elektrizitätsverbundnetz oder im Inselbetrieb zu betreiben.

Zur Abschätzung des über ein Verbundnetz nutzbaren Windenergiepotentials wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

Aus dem derzeitigen, noch lückenhaften Datenmaterial über Windverhältnisse (Windgeschwindigkeit, jahreszeitliche Schwankungen etc.) in der Bundesrepublik Deutschland läßt sich näherungsweise der Schluß ziehen, daß rd. 30 000 km² (12 % der Gesamtfläche der Bundesrepublik) als windnutzungsbegünstigt eingeschätzt werden können. Zu diesen Gebieten zählen die Norddeutsche Tiefebene sowie exponierte Lagen der Mittelgebirge (Abb. 13) [34]. Damit in diesen Gebieten die Windenergieanlagen ohne gegenseitige Beeinflussung arbeiten können (Verhinderung von Windschatten etc.), wird davon ausgegangen, daß eine Anlage pro km² errichtet werden kann.

Abb. 13
Geographische Verteilung der Windgeschwindigkeit in der Bundesrepublik Deutschland



Über die optimale Leistungsgröße und die Nutzungsdauer von großen Windanlagen liegen derzeit noch keine gesicherten Angaben vor. Die zur Zeit an der norddeutschen Küste in Bau befindliche Großanlage wird für eine Leistung von 3 MW_{el} und einem Energieertrag von 9 GWh/a projektiert. Dem liegt eine mittlere Windgeschwindigkeit von 5,5 m/s zugrunde, die am Küstensaum bzw. Küstenvorfeld auf einer Fläche von ca. 4 000 km² zu erwarten ist. Für die verbleibenden 26 000 km² (Mittelgebirgslagen) kann eine mittlere Windgeschwindigkeit von 4,5 m/s veranschlagt werden, woraus sich, ebenfalls bei einer Leistung von 3 MW_{el}, ein Energieertrag von 7 GWh/a ergibt.

Unter Berücksichtigung der obigen Prämissen ergibt sich ein maximales technisches Leistungspotential von 90 GW und eine jährliche Stromerzeugung von 218 TWh. Dies stellt sicher einen oberen technischen Grenzwert dar, der unter realen Bedingungen nicht erreichbar ist. Berücksichtigt man, daß weite Teile der windnutzungsbegünstigten Gebiete an der Küste siedelt sind oder zu Landschafts- und Erholungsgebieten gehören (Annahme: 25 %), so reduziert sich die verfügbare Fläche auf 3 000 km². Bei den Flächen der windnutzungsbegünstigten Mittelgebirgslagen ist zu berücksichtigen, daß nur exponierte Höhen- und Gipfellagen des Harzes, des Rothaargebirges, der Rhön, der Hocheifel, des Hochschwarzwaldes und des Alpennordrandes als günstige Standorte zu bezeichnen sind. Von diesen Standorten sind anders genutzte Gebiete (z. B. als Landschaftsschutz- oder Erholungsgebiet) sicher von vornherein auszuschließen. Trotzdem nehmen wir an, daß 10 % von den Flächen der windnutzungsbegünstigten Mittelgebirgslagen für die Windnutzung zur Verfügung stehen. Unter Berücksichtigung dieser Prämissen rechnen wir für die Bundesrepublik Deutschland mit einem theoretischen Windenergieangebot von 45 TWh/a. Unter technischen Gesichtspunkten gilt es weiterhin zu bedenken, daß das Windenergieangebot zeitlich erheblichen Schwankungen unterliegt. Neben technischen Vorkehrungen zur Frequenz- und Spannungsstabilisierung [35] ist es auch notwendig, die Zeiten von Windflauten zu überbrücken. Diese können an der Küste zwischen 7 und 10 Stunden und im Binnenland zwischen 16 und 30 Stunden betragen. Da die Flauten nicht örtlich, sondern i. d. R. großflächig und gleichzeitig auftreten, ist in einem regionalen Verbundsystem, das allein aus Windkraftanlagen besteht, ohne zusätzliche Speichereinrichtungen und/oder zusätzliche fossil gefeuerte Kraftwerke eine jederzeitige Deckung der Nachfrage nicht gewährleistet.

Neben der Nutzung der Windenergie in großen Anlagen besteht auch die Möglichkeit, einzelne Energieverbraucher quasi autonom durch kleine Windkraftanlagen, die im Inselbetrieb arbeiten, zu versorgen. Wir unterstellen hier, daß alle 914 000 landwirtschaftlichen Betriebe in der Bundesrepublik Deutschland [36] ihren Elektrizitätsbedarf aus kleinen Windkraftanlagen mit Speichereinrichtungen decken. Je nach Größe des Betriebes handelt es sich dabei um Windanlagen im Leistungsbe- reich von 6-14 kW_{el} und einer Vollastnutzungsdauer von rd. 1000 h/a. Diese im Vergleich zur Großanlage geringe Nutzungsdauer ergibt sich aus der Tatsache, daß die Gleichmäßigkeit und Verfügbarkeit der Windgeschwindigkeit mit abnehmender Höhe aufgrund natürlicher und künstlicher Hindernisse abnimmt.

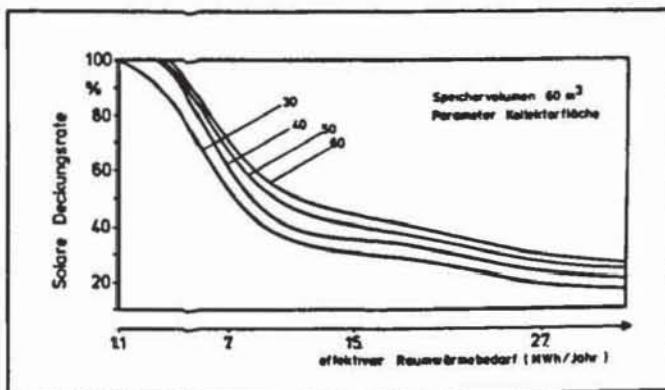
Das gesamte nutzbare Windenergiepotential beträgt somit 42 TWh/a (nach Abzug der Verteilungsverluste) aus großen und 9 TWh/a aus kleinen Windanlagen.

3.2.3 Solarsysteme für Ein- und Zweifamilienhäuser

Solare Heizungs- u. Warmwassersysteme wandeln solare Strahlung mit Hilfe von thermischen Niedertemperaturkollektoren

ren direkt in Nutzwärme um. Die Kollektoren bestehen im wesentlichen aus Absorbern, die die Sonnenstrahlung auffangen und die Wärme an ein flüssiges oder gasförmiges Transportmedium abgeben. Das aufgeheizte Transportmedium ($< 200^{\circ}\text{C}$) wird in einem geschlossenen Kreislauf geführt und zur Erwärmung eines Brauchwasserboilers genutzt und/oder einem Heizungskreislauf zugeführt. Ist die Sonneneinstrahlung im Sommer ausreichend, den Wärmebedarf zu decken, so ist für die übrigen Jahreszeiten ein Wärmespeicher in den Kreislauf zu integrieren, der die überschüssige Sonnenenergie des Sommers für Jahreszeiten speichert, in denen das Sonnenenergieangebot unzureichend ist [37]. Welchen Wärmebedarf ein Solarsystem decken kann, zeigt Abb. 14. In dieser Abbildung ist die solare Deckungsrate in Abhängigkeit des effektiven Raumwärmebedarfs eines Ein- bis Zweifamilienhauses eingetragen. Als Parameter wurde die Kollektorfläche zwischen 30 und 60 m^2 variiert und ein konstantes Speichervolumen von 60 m^3 angenommen. Als Ergebnis zeigt sich, daß größere Kollektorflächen und eine Abnahme des Raumwärmebedarfs zu höheren Deckungsraten führen. Benötigt der derzeitige Wohnbestand von Ein- und Zweifamilienhäusern noch einen durchschnittlichen Raumwärmebedarf von ca. 33 MWh/a , so schreibt die zur Zeit gültige Wärmeschutzverordnung für neue Ein- u. Zweifamilienhäuser 25 MWh/a vor. Wird dieser Wert in der Zukunft nicht unterschritten, so wird die solare Deckungsrate noch unter 40 % liegen, so daß ein Zusatzheizungssystem notwendig ist. Günstiger sieht das Bild dann aus, wenn es gelingen sollte, durch stark forcierte Wärmeeinsparmaßnahmen (Isolierung der Wände und Decken bis 50 cm, Dreifachverglasung, kontrollierte Belüftung etc.) den Wärmebedarf zu senken. In unserem Szenarium gehen wir davon aus, daß trotz geringer Wettbewerbschancen, trotz psychologischer Probleme (z.B. verursacht durch eine reglementierte Belüftung) und trotz noch ungelöster technischer Probleme (z.B. fehlen noch Wärmeisolerstoffe, um den Speicherinhalt auf einem ausreichenden Temperaturniveau zu halten) bis zum Jahre 2030 eine 100 %ige Deckungsrate für alle Ein- bis Zweifamilienhäuser realisiert werden kann, so daß ein zusätzliches Heizungssystem überflüssig wird.

Abb. 14: Solare Deckungsrate in Abhängigkeit des effek. Raumwärmebedarfs



3.2.4 Solarsysteme mit dieselmotorbetriebener Wärmepumpe

Zur Deckung des Wärmebedarfs bei hohen Bedarfsdichten, wie z.B. in Mehrfamilienhäusern, im Kleinverbrauchsereich oder in der Industrie sind monovalente Solarsysteme wegen der erforderlichen großen Kollektorflächen nicht geeignet. Aus diesem Grunde unterstellen wir für diese Bereiche Solarsysteme mit dieselmotorgetriebenen Wärmepumpen und Motor/Generator-Anlagen zum Einsatz, wobei modellhaft angenommen wird, daß die Verbraucher sich zu 50 % für ein Solarsystem mit dieselmotorbetriebener Wärmepumpe und zu 50 % für eine Motor/Generator-Anlage entscheiden.

Das Prinzipschaltbild eines Solarsystems in Kombination mit einer Dieselmoterpumpe zeigt Abb. 15. Die durch den Kollektor aufgenommene Wärme wird einem Speicher zugeführt, der bei ausreichender Temperatur die Wärmeversorgung allein übernimmt. Fällt die Temperatur unter die erforderliche Vorlauftemperatur ab, so schaltet das Dreiwegventil V1 um und

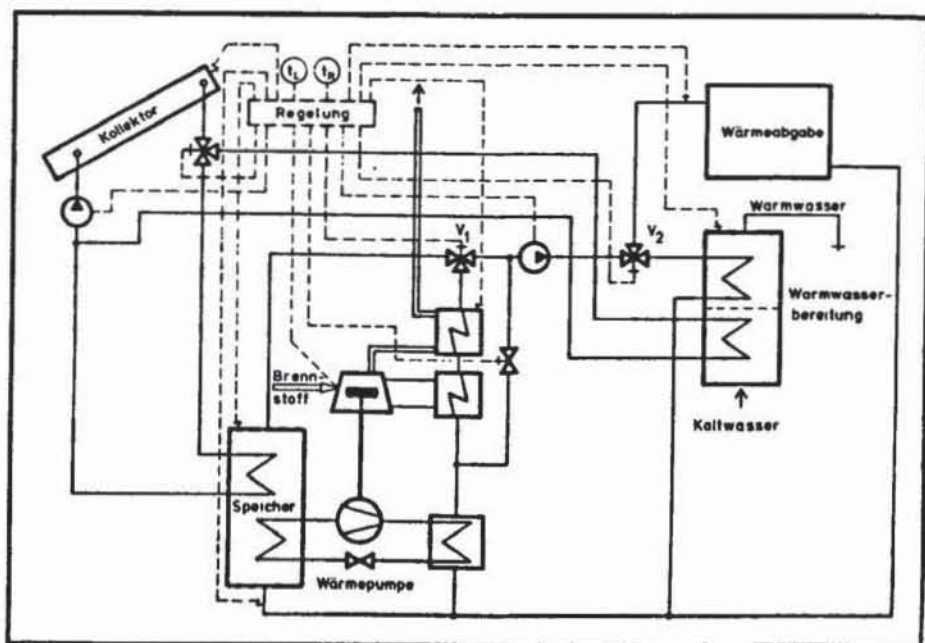


Abb.: 15: Prinzipschaltbild der Solaranlage mit dieselmotorbetriebener Wärmepumpe

die Wärmepumpe sichert die weitere Versorgung mit Energie. Der Speicher dient dabei als Wärmequelle. Im angeschlossenen Wärmeverteilungsnetz erwärmt sich zuerst das Rücklaufwasser im Wärmepumpenkondensator und heizt sich dann weiter im Kühlwasser- und Abgaswärmetauscher auf. Der Wasser-Durchfluß läßt sich mit Hilfe eines Bypasses um die beiden Abhitzewärmetauscher so regeln, daß der Motor im günstigen Temperaturbereich arbeitet. Wie bei den übrigen Solarsystemen erfolgt die Erwärmung des Brauchwassers durch einen Doppelspeicher. In seinen unteren, kälteren Teil speist die Solaranlage ihre Energie ein, während im oberen Warmwasserbereich ein Wärmetauscher die weitere Aufheizung übernimmt. Dieser Wärmetauscher ist über das Dreiwegventil V2 und eine Vorrangschaltung mit dem Heizungskreislauf verbunden.

Wie das Schaltbild zeigt, ist keine Zusatzheizung vorgesehen. Die Auslegung ist so gewählt, daß der gesamte Wärmebedarf durch die Solaranlage, die Wärmepumpe und die Motorabwärme gedeckt wird. Dies bedeutet beispielsweise für ein Zwölffamilienhaus mit einem Nutzwärmebedarf von 140 MWh/a eine Anlage mit einer Kollektorfläche von 312 m², einem Speichervolumen von 55 m³ und einer Heizleistung der Wärmepumpe von 78 kW. Eine derartige Anlage verbraucht dabei pro Jahr etwa 65 MWh an flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen und 1,8 MWh an Strom für Pumpen und Hilfsein-

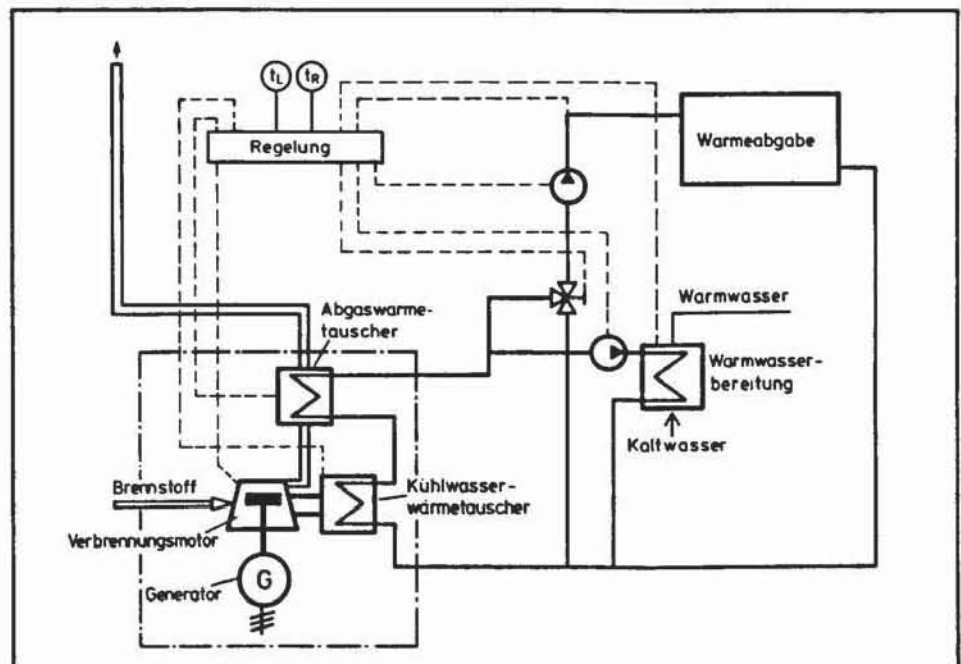
tioneller Heizungssysteme identisch (Abb. 16). Der Verbrennungsmotor treibt den Generator mit konstanter Drehzahl an, die dabei anfallende Kühlwasser- und Abgaswärme des Motors wird in den Heizungskreislauf und/oder in den Wärmetauscher zur Warmwasserbereitung eingespeist.

Für unser Szenarium wurde eine monovalente Anlage zugrunde gelegt, die nach der maximal erforderlichen Heizleistung ausgelegt ist. Die Wärmeerzeugung wird vollständig durch die Abwärme erbracht, eine Zusatzheizung ist nicht notwendig. Die typischen Daten einer Motor/Generator-Anlage für ein Zwölffamilienhaus sind: Motorleistung 42 kW, Heizleistung 78 kW, energetischer Nutzungsgrad 71 %, Vollastnutzungsstunden 2073 h/a, Stromerzeugung 77 MWh/a, Brennstoffverbrauch 305 MWh/a [39]. Werden mit diesem System 50% des Wärmebedarfs der Mehrfamilienhäuser und der Kleinverbraucher und 50% des industriellen Niedertemperaturwärmebedarfs gedeckt, so ist dazu ein Brennstoffeinsatz von 468 TWh/a notwendig, wobei gleichzeitig 118 TWh/a an Elektrizität erzeugt werden.

3.2.6 Biomassenumwandlungsanlagen

Biomassenumwandlungsanlagen können zur Erzeugung von flüssigen und gasförmigen Brennstoffen sowie zur Stromge-

Abb. 16:
Prinzipschaltbild einer monovalenten Motor-Generator-Heizanlage



richtungen [38]. Zur Deckung von 50% des Wärmebedarfs der Mehrfamilienhäuser und Kleinverbraucher und der Hälfte des industriellen Niedertemperaturwärmebedarfs (< 100°C) wäre somit ein Energieinput in Höhe von 99 TWh/a an Brennstoffen und 2,8 TWh/a an Elektrizität notwendig, um 215 TWh/a an Wärmeenergie bereitzustellen.

3.2.5 Motor/Generator-Anlage

Eine Motor/Generator-Anlage dient der kombinierten Erzeugung von Wärme und Strom. Sie besteht aus der Zusammenschaltung von Verbrennungsmotor, Generator, Abhitze- und Zusatzheizkessel. Die Wärmeabgabe und Warmwasserbereitung sind mit den entsprechenden Teilen konven-

winnung eingesetzt werden. Zur Biomassenumwandlung sind aus heutiger Sicht drei Verfahren aussichtsreich:

- die Verbrennung,
- die Pyrolyse und
- die Fermentation.

Bei der Verbrennung von pflanzlichem Material wird Wärme frei, die am Ort als Prozeßwärme eingesetzt oder in Elektrizität umgewandelt werden kann. Als Verbrennungsrückstände bleiben Ruß und Asche übrig. Der Heizwert der organischen Substrate liegt zwischen 3700 kcal/kg für Monosaccharide und 6400 kcal/kg für Algen.

Die Pyrolyse (destruktive Destillation) läuft bei Temperaturen von 500 bis 1000°C ab. Dies geschieht unterstöchiometrisch

entweder unter gedrosselter Luftzufuhr durch teilweise Verbrennung des Materials oder unter vollkommenem Sauerstoffabschluß bei Wärmezufuhr von außen – letzteres mit einem geringeren Wirkungsgrad. Dabei bilden sich kohlenwasserstoffhaltige Gase, Öle und Teer. Der Hauptnachteil des Prozesses besteht in der schlechten Regulierbarkeit der Produkte, insbesondere dann, wenn nichthomogene Materialien pyrolysiert werden. Die Nebenprodukte sind wenig umweltfreundlich, vor allem in ihrer Beseitigung. Ein weiterer Nachteil ist der hohe Wärmeverbrauch der Anlage, der oft höher ist als der Energieinhalt der Produkte, insbesondere dann, wenn feuchte Materialien pyrolysiert werden [40].

Bei der Fermentation (dem mikrobiellen Abbau von kohlenstoffhaltigen Substanzen) arbeitet man zur Energiegewinnung anaerob (unter Luftabschluß) in wässrigem Milieu. Es werden in der Hauptsache zwei Produkte alternativ gewonnen: Äthanol (C_2H_5OH) oder Methan (CH_4). Bei der Fermentation zu Äthanol wird das Substrat erst durch eine Säure- oder Enzym-Hydrolyse zu Zucker abgebaut, bevor es in den Fermenter kommt. Das Produkt Äthanol wird anschließend durch Destillation gewonnen. Bei der Fermentation zu Methan kann das Substrat ohne Vorbehandlung in den Fermenter gegeben werden. Das Produkt ist ein Gas, welches zu zwei Dritteln aus Methan und zu einem Drittel aus Kohlendioxid besteht. Die abgebauten Mineralstoffe und insbesondere auch der Stickstoff werden in Wasser gelöst, bleiben vollständig erhalten und stehen als Flüssigdünger zur Verfügung.

Der Prozeß hat folgende Vorteile:

- Verwendung von Substraten mit hohem wie auch niedrigem Wassergehalt.
- Prozeßablauf bei niedriger Temperatur (25 bis 55°C) und geringem Druck.
- Energie- und Nährstoffrückgewinnung aus dem Substrat.
- Möglichkeit der Realisierung von kleinen und großen Anlagen.
- Verwendbarkeit verschiedenartiger Substrate in der gleichen Anlage (z.B. pflanzliche Stoffe jeder Art, kommunaler Schlamm und Abfälle, tierische Abfälle etc).

Diesen Vorteilen steht der Nachteil eines niedrigen Ligninabbaues gegenüber [41].

Zur Energiegewinnung kommen folgende Substrate in Betracht, deren Einsatzpotential für unser Szenarium abgeschätzt werden soll:

- Klärschlamm
- Hausmüll
- Holzabfälle
- Stallmist und
- Pflanzen.

Klärschlamm

Methan fällt als Nebenprodukt in der anaeroben Stufe einer Kläranlage bei der sog. Schlammfäulung an. Die dort erzeugte Gasmenge wird u.a. zum Zuheizen verwendet. Sie stellt in summa aber kein erwähnenswertes Energiepotential dar, da sie selbst zur Energieautarkie einer Kläranlage zur Zeit noch unzureichend ist. In der Frage, inwieweit in Zukunft eine Energieautarkie erzielt werden kann, gehen die Meinungen zum Teil erheblich auseinander [42].

Hausmüll

Hausmüll stellt als organischer Abfall einen Energieträger dar, der zur Gaserzeugung eingesetzt werden kann. Als Verfahren kann prinzipiell die Fermentation in Biogasanlagen eingesetzt werden. Gehen wir für unser Szenarium einmal von der Überlegung aus, daß die Menge des Hausmülls pro Kopf noch weiter ansteigt, andererseits aber aufgrund abnehmender Bevöl-

kerungszahlen der Hausmüll auf seinem heutigen Niveau verbleibt, so können bei einer ausreichenden Zahl von Biogasanlagen im Jahre 2030 42 TWh/a an Methan erzeugt werden [43]. Stellt dieses Potential auch kein großes Energieangebot dar, so ist dies doch ein Beitrag zur Lösung unseres Abfallproblems.

Holzabfälle aus der Forstwirtschaft

Ohne den Waldbestand zugunsten der Energiegewinnung zu reduzieren, wird geschätzt, daß jährlich $12,5 \times 10^6$ t Holzabfälle zur Energiegewinnung herangezogen werden können [44]. Wird hiervon der Eigenverbrauch für Abtransport, Aufbereitung und Trocknung abgezogen, verbleiben rd. $9,25 \times 10^6$ t/a. Wird diese Menge im Jahre 2030 zur Gaserzeugung genutzt (1 kg trockenes Holz $\hat{=}$ $2,3$ m³ Gas, 1 m³ $\hat{=}$ $1,45$ kWh), so ergibt sich damit eine nutzbare Energiemenge von 30 TWh/a.

Stallmist

Die Methangewinnung aus Stallmist bietet sich in landwirtschaftlichen Betrieben, insbesondere bei der Massentierhaltung an. Da Mist aus landwirtschaftlichen Betrieben wegen des Gehaltes an pathogenen Keimen nicht direkt auf das Feld gegeben werden kann, sondern zunächst mindestens ein halbes Jahr gelagert werden muß, ist während dieser Zeit die Erzeugung von Methan möglich. Es liegt somit nahe, auf der Basis von Stallmist Methan als Nebenprodukt zu erzeugen [45]. Gehen wir bei unseren Potentialabschätzungen davon aus, daß sämtliche landwirtschaftlichen Betriebe in der Bundesrepublik Deutschland, selbst kleine und mittlere Betriebe, bei denen sich eine Methangewinnungsanlage aus Kostengründen nicht lohnt, Stallmist zur Methangewinnung heranziehen und das Mistaufkommen bis zum Jahre 2030 in Höhe von $17,5 \times 10^6$ t/a konstant bleibt, so können im Jahre 2030 37,8 TWh/a an Biogas bereitgestellt werden.

Pflanzen

In unseren Breiten ist der Anbau von Zuckerrüben, Kartoffeln, Mais und Getreide zur Energiegewinnung möglich. Da die Zuckerrübe zum größten Energieertrag führt, wird davon ausgegangen, daß sie bei einer evtl. Nutzung zur Energiegewinnung gewählt wird. Die Zuckerrübe kann sowohl zur Gas- als auch zur Äthanolherstellung eingesetzt werden, wobei in unserem Szenarium dem Äthanol als Kraftstoff für Automobile den Vorzug gegeben wird, da bisher im Szenarium nur Technologien zur Wärmebereitstellung und Elektrizitätserzeugung betrachtet wurden.

Um 1 l Äthanol herzustellen, werden 11,8 kg Zuckerrüben benötigt. Bei dem jährlichen durchschnittlichen Ernteertrag von 42 t/ha ergibt sich hieraus ein Äthanolertrag von 3560 l/ha, entsprechend $2,3 \times 10^6$ kWh/km² bei einem energetischen Benzin/Äthanoläquivalent von 1:0,62 [46]. Hiervon ist der Energieverbrauch für Düngung, Feldbestellung und Äthanolherstellung ($0,73 \times 10^6$ kWh/km² \times a) abzuziehen, wobei unterstellt wurde, daß durch eine Steigerung des Wirkungsgrades der Äthanolherstellung und durch Eigenarbeit bei der Feldbestellung der derzeitige Eigenverbrauch um die Hälfte gesenkt werden kann. Nur unter diesen Voraussetzungen wird die zur Zeit vorhandene negative Nettoenergiebilanz positiv. Es verbleibt ein Nettoenergieertrag in Höhe von $1,57 \times 10^6$ kWh/km² \times a.

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche beträgt in unserem Lande 13×10^6 ha, entsprechend 53 % der Fläche der Bundesrepublik Deutschland. Hiervon werden derzeit 368×10^3 ha ($\hat{=}$ 2,8 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche) zum Zuckerrübenanbau genutzt [47]. Wird die Verwendung von Zucker als Nahrungsmittel um die Hälfte reduziert, z.B. aufgrund einer abnehmenden Bevölkerungszahl oder eines geringeren Zuckerkonsums, oder Zucker importiert, so kann die

Hälfte der Anbaufläche zur Energiegewinnung eingeplant werden. Werden weiterhin zur Energiegewinnung die landwirtschaftlich nicht mehr genutzten Flächen zum Zuckerrübenanbau rekultiviert, so könnte eine Anbaufläche von $5 \times 10^3 \text{ km}^2$ zur Verfügung stehen. Diese Fläche wird trotz abnehmender Bevölkerung kaum auszuweiten sein, da eine optimale Nutzung des Bodens einen Zuckerrübenanbau nur alle drei Jahre gestattet und die Zuckerrübe nur auf tiefgründigem Boden gedeiht. Weiterhin ist es unwahrscheinlich, daß die derzeit anders genutzten land- und forstwirtschaftlichen Flächen zugunsten des Zuckerrübenanbaues eingeschränkt werden. Werden die $5 \times 10^3 \text{ km}^2$ tatsächlich zur Äthanolherstellung genutzt, so können im Jahre 2030 7,7 TWh/a an Äthanol erzeugt werden.

3.3 Energienachfrage im Vergleich zum Energieangebotspotential

In Abb. 17 sind die zuvor diskutierten Versorgungsbeiträge der verschiedenen "sanften Energietechniken" der sektoralen Energienachfrage gegenübergestellt.

Dieses Energieflußbild einer "sanften Energieversorgung" stellt natürlich nur eine von mehreren denkbaren Strukturen eines "sanften Systems" dar. Die vorgenommene Auswahl und Zuordnung der einzelnen Energietechniken war dabei bestimmt durch die technischen Möglichkeiten der einzelnen Systeme. Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, daß bei einer Verwirklichung dieses Szenariums neben ökonomischen und soziopolitischen Implikationen (s. Kap. 4 bis 6) noch eine Reihe technischer Probleme gelöst werden müssen.

Prototypen zur Windkraftnutzung werden noch beweisen müssen, ob Großwindkraftwerke die geplante Jahresauslastung erreichen und inwieweit das ungleichförmige Windangebot den

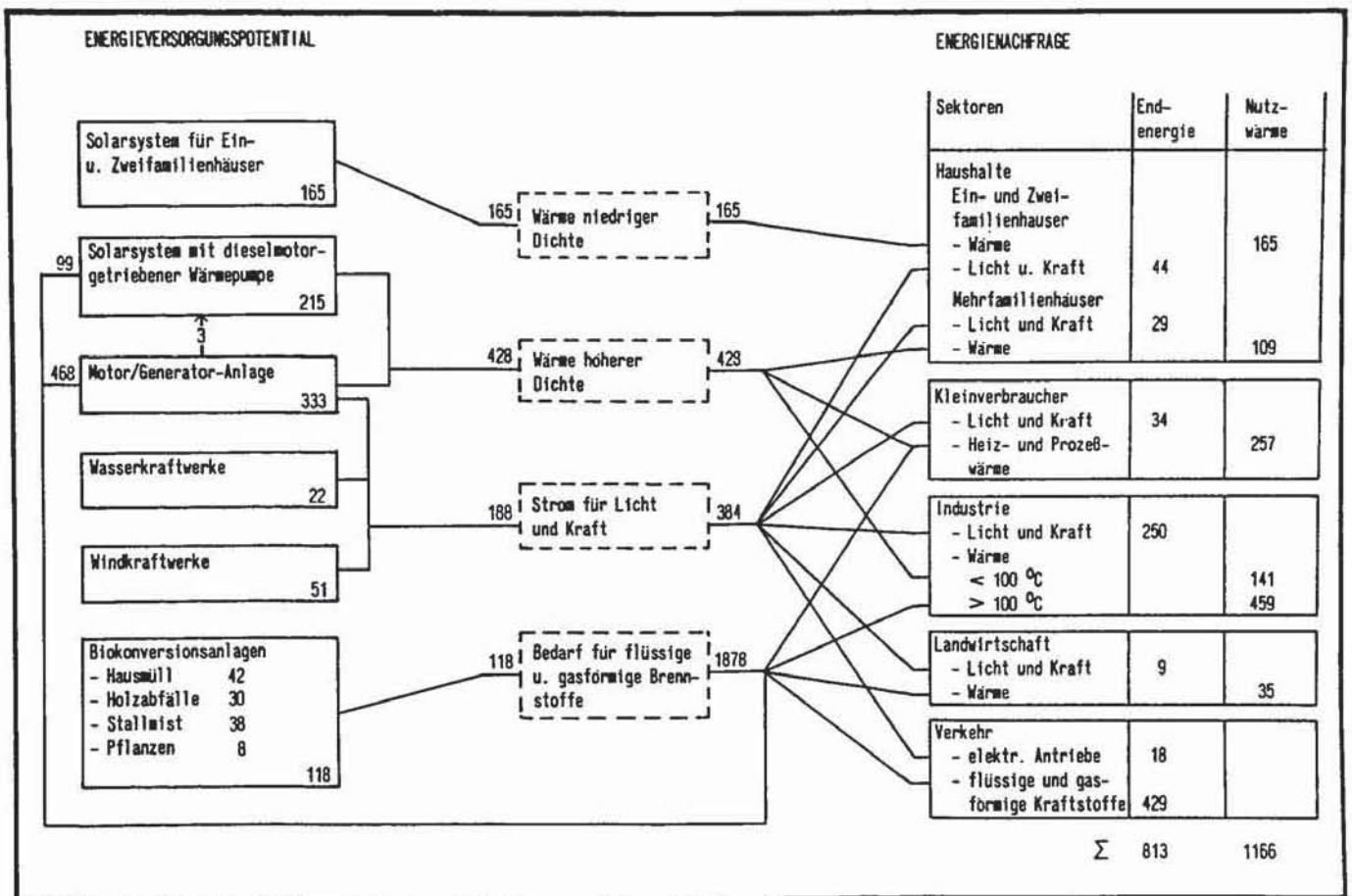
Elektrizitätsbedarf durch Reservekapazitäten und/oder Speicher jederzeit störungsfrei decken kann.

Weiterhin ist zu bedenken, daß die Auslegungsdaten der Solarsysteme von der optimistischen Annahme ausgehen, daß es neben verstärkten Wärmeisierungsmaßnahmen in Zukunft Wärmespeicher geben wird, die den im Sommer erwärmten Speicherinhalt bis in den Winter hinein auf einem ausreichenden Temperaturniveau halten. Zudem ist dabei zu berücksichtigen, daß die Effizienz der Kollektoren nicht durch Schattenbildung (verursacht durch höhere Gebäude, Baumbestand etc.) beeinträchtigt wird und darüber hinaus das Hausdach mit einer Dachneigung von 40° so ausgerichtet wird, daß ein Maximum der täglichen Sonneneinstrahlung aufgenommen werden kann.

Ähnlich optimistisch ist die Option der Biokonversionsanlagen zu beurteilen. Einerseits wurde für den Hausmüll, die Holzabfälle und den Stallmist das maximale Energiepotential abgeschätzt, andererseits ist es bisher noch zweifelhaft, ob die zur Zeit bestehende negative Nettoenergiebilanz bei der Äthanolgewinnung auf Zuckerrübenbasis jemals positiv werden kann.

Werden diese skizzierten technischen Probleme rechtzeitig gelöst, damit eine ausreichende Übergangszeit bis zum Jahre 2030 verbleibt, so zeigt die Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage, daß mit Hilfe der "sanften Energiesysteme" die Nachfrage nicht einmal unter den hier unterstellten optimistischen Annahmen vollständig gedeckt werden kann, obwohl – und hier sei noch einmal daran erinnert – der Begriff "sanft" auch auf zentrale regenerative Energiesysteme ausgedehnt wurde. Das Bild zeigt, daß die Solarsysteme und die Motor/Generator-Anlagen den Wärme- und Brauchwasserbedarf der Haushalte und der Kleinverbraucher decken können und

Abb. 17: Sanftes Energieszenarium für die Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2030 [TWh/a]



zudem die Biokonversionsanlagen den Wärmebedarf der Landwirtschaft übernehmen können. Weitgehend ungedeckt bleibt der Prozeßwärmebedarf der Kleinverbraucher sowie der gesamte Wärmebedarf der Industrie und der Bedarf an flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen im Verkehrssektor. Weiterhin ist die Elektrizitätsbereitstellung aus Wasser- und Windkraftwerken völlig unzureichend. In Zahlen ausgedrückt betragen die Deckungslücken in der Stromversorgung rd. 200 TWh/a bzw. rd. 2300 TWh/a bei der Versorgung mit flüssigen und gasförmigen Brennstoffen (hierbei wurde die Nutzwärme in Endenergie umgerechnet und der Energieinput für die Motor/Generator-Anlage und für das Solarsystem mit dielemotorgetriebener Wärmepumpe berücksichtigt).

Trotz der optimistischen Annahmen über die Lösungsmöglichkeiten der noch anstehenden Probleme, der Ausweitung des Begriffs "sanft" auf zentrale regenerative Energiesysteme und der maximalen Abschätzung aller verfügbaren Potentiale zeigt sich, daß insgesamt nur ca. 30% der Nachfrage gedeckt werden können.

4. Wirtschaftlichkeit der sanften Energiesysteme

Im vorangegangenen Kapitel wurde das Einsatzpotential der "sanften Energietechniken" entsprechend den technischen Möglichkeiten der einzelnen Energiesysteme abgeschätzt. Dies allein ist aber noch keine Basis, um die Chancen und Vorteile der "sanften" Energieträger im Vergleich zu den zentralen Energieversorgungssystemen zu beurteilen. Neben der technischen Analyse ist die Frage der Wirtschaftlichkeit von gleichrangiger Bedeutung. Erst dadurch wird sichtbar, wieviel Boden, Arbeit und Kapital eine Volkswirtschaft aufbringen muß, um ein bestimmtes Energieversorgungssystem erstellen und betreiben zu können. Hierbei wird dann dasjenige System bevorzugt, das zum optimalen Einsatz von Boden, Arbeit und Kapital führt, d.h. die geringsten Gesamtkosten verursacht.

In diesem Kapitel werden zuerst die Kosten derjenigen "sanften Energietechniken" berechnet, die zur Elektrizitätserzeugung und Brennstoffgewinnung eingesetzt werden können. Anschließend wird ein Gesamtkostenvergleich für verschiedene Raumheizungssysteme durchgeführt. Die Raumheizungssysteme wurden deshalb gewählt, da aus heutiger Sicht hier am ehesten technische Einsatzmöglichkeiten der regenerativen Energiesysteme bestehen und darüber hinaus der Haushaltssektor als derzeit bedeutendster Endenergienachfrager Energie überwiegend zu Heizungs- und Warmwasserszwecken benötigt.

4.1 Kosten zur Elektrizitätserzeugung und Brennstoffgewinnung

In diesem Kapitel werden die Stromerzeugungskosten von zentralen und dezentralen Windkraftwerken und Brennstoffkosten von Biokonversionsanlagen im Vergleich zu Energieumwandlungskosten herkömmlicher Energiesysteme angegeben.

Stromerzeugungskosten aus Windkraftwerken

Damit ein Großwindkraftwerk (3 MW_e) bei einer optimistischen Auslastung von 3300 h/a wirtschaftlich arbeitet, dürfen die spezifischen Stromerzeugungskosten nicht über 18,0 Pf/kWh steigen, um beispielsweise mit einem Steinkohlekraftwerk im Jahre 1985 konkurrieren zu können [48], [49]. Um diesen Wert zu erreichen, dürfen die anlegbaren Bau- und Betriebsausgaben nicht über 5740 DM/kW steigen. Ob dieser Wert, evtl. durch Serienfertigung, erreicht werden kann, ist zur Zeit noch

fraglich, wenn man bedenkt, daß die in Norddeutschland im Bau befindliche Prototypanlage (GROWIAN; 3 MW_e) mit 10000 DM/kW veranschlagt wird und damit erheblich über den anlegbaren Bau- und Betriebsausgaben liegt.

Da Windenergie diskontinuierlich anfällt, darf ein elektrisches Verbundsystem nur über etwa 20% an installierter Windkraftleistung verfügen, um eine jederzeit gesicherte Versorgung zu gewährleisten. Aus diesem Grunde ist die Installation von Reservekapazitäten notwendig. Hierdurch erhöhen sich – unter der Voraussetzung, daß die anlegbaren Bau- und Betriebsausgaben tatsächlich erreicht werden – die Stromerzeugungskosten aus Windkraft von 18 Pf/kWh auf 24 Pf/kWh, wenn eine Kraftwerksreserve auf Steinkohlenbasis angenommen wird.

Wird statt der Großwindanlage zur zentralen Stromversorgung eine Kleinanlage mit ca. 10 kW für die dezentrale Windnutzung, z.B. für landwirtschaftliche Betriebe, in der Kostenrechnung berücksichtigt, so erhöhen sich die Stromerzeugungskosten auf rd. 1 DM/kWh bei Investitionskosten in Höhe von ca. 80000 DM und einer Jahresauslastung von 1200 h/a [50]. Diese niedrigere Jahresauslastung im Vergleich zu Großwindanlagen ergibt sich sowohl aufgrund eines geringeren Windangebots in Bodennähe, als auch durch eine Ablenkung der Windströme durch natürliche und/oder künstliche Hindernisse, wie beispielsweise Hügel und Häuser. Werden bei diesen Stromerzeugungskosten Speicherkosten in Höhe von ca. 50 Pf/kWh zur Überbrückung von 10-stündigen Windflauten einkalkuliert, so ergeben sich Gesamtkosten (ohne Berücksichtigung von weiteren Betriebs- und Unterhaltungskosten) von rd. 1,50 DM/kWh. Diese Kosten liegen rd. um den Faktor 10 höher als der derzeitige Strombereitstellungspreis beim Endverbraucher.

Erzeugungskosten gasförmiger und flüssiger Brennstoffe aus Biomasse

Eine genaue Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Biokonversionsanlagen ist für deutsche Verhältnisse zur Zeit noch sehr schwierig. Weder läßt sich aus den derzeitigen Verfahrensmöglichkeiten und Techniken eine einheitliche Form einer praktikablen Anlage bestimmen, noch sind die konkreten Einsatzbedingungen bekannt, unter denen solche Anlagen betrieben werden können. Aus diesen Gründen sind nur Kostenschätzungen möglich.

Für Biogasanlagen werden zur Zeit Investitionskosten in der Größenordnung zwischen 1000 und 5000 DM/DGV (Dünger-Großvieheinheit) bei einer nutzbaren Biogasmengenausbeute zwischen 0,2 und 0,6 m³/kg organischer Trockenmasse (OTM) genannt. Legen wir für unsere Abschätzung durchschnittliche Investitionskosten in Höhe von 2500 DM/DGV und eine durchschnittliche nutzbare Biogasmengenausbeute von 0,4 m³/kg zugrunde und gehen wir ferner von Betriebs- und Unterhaltungskosten in der Größenordnung von 145 DM/DGV aus, so ergeben sich spezifische Biogaskosten in Höhe von 0,5 DM/m³ (0,83 DM/l Heizöläquivalent) [51].

Erste Kostenberechnungen zur Gewinnung von Äthanol aus Zuckerrüben kommen zu Werten von rd. 1,50 DM/l Benzinquivalent ohne Steuern [52].

Im Vergleich zu den Erzeugungskosten gasförmiger und flüssiger Brennstoffe aus Biomasse werden im folgenden die Importpreise und Erzeugungskosten der herkömmlichen Energieträger angegeben.

Heizöl

Leichtes Heizöl wurde 1979 sowohl als Fertigprodukt aus den Niederlanden importiert, als auch in den deutschen Raffinerien aus Rohöl hergestellt. Lag der Rohölpreis ab Grenze in der 1. Hälfte 1979 bei rd. 230 DM/t, so stieg er auf rd. 320 DM/t in der 2. Hälfte 1979. Ähnlich war die Entwicklung für den Grenzabgabepreis beim Heizöl. In der 1. Hälfte 1979 lag der Preis

noch bei rd. 340 DM/t, in der 2. Hälfte 1979 aber schon bei rd. 590 DM/t. Werden die Preise der 2. Hälfte 1979 mit den Bezugsmengen Rohöl/Heizöl gewichtet, ergibt sich ein durchschnittlicher Preis von rd. 500 DM/t.

Erdgas

Der Grenzübergangspreis für Erdgas lag Anfang 1979 bei rd. 1,35 Pf/kWh. Werden aber auch hier die Preissteigerungsraten von 28 % bis zum Herbst 1979 berücksichtigt, so ergibt sich ein Preis von 1,73 Pf/kWh. Werden die Kosten für die überregionalen Pipelines und zentralen Speicher mit berücksichtigt, so errechnet sich ein Preis von 3,3 Pf/kWh an der Übergabestation des überregionalen Transportnetzes zum regionalen Transport- und Verteilungsnetz.

Fernwärme

Die Erzeugungskosten der Fernwärme werden entscheidend von der Wärmenachfrage, der Aufteilung zwischen Heizwerken und Heizkraftwerken, der Anlagengröße und der Brennstoffart beeinflusst. Werden für die Fernwärmeversorgung optimale Einsatzbedingungen zugrunde gelegt, wobei als Wärmequelle ein 600 MW_e fossil gefeuertes Heizkraftwerk und ein Spitzenheizwerk zugrunde gelegt werden, die 85 % bzw. 15 % der Arbeit übernehmen, so ergeben sich Erzeugungskosten in Höhe von rd. 3,2 Pf/kWh [53].

Abschließend sind in der Abb. 18 die Kosten der Elektrizitätserzeugung und Brennstoffgewinnung der sanften wie der traditionellen Energietechniken dargestellt. Deutlich zeigt sich sowohl bei der Elektrizität als auch bei den gasförmigen und flüssigen Brennstoffen eine große Kostendifferenz zwischen den sanften und den derzeitigen Energieversorgungstechniken zum Nachteil der sanften Energietechniken.

Abb. 18
Importpreise und Erzeugungskosten von Energieträgern

Energieträger	Preise/Kosten	
Elektrizität		
Großwindanlage ¹⁾	0,21	DM/kWh
Kleinwindanlage	1,50	DM/kWh
Kohlekraftwerke ²⁾	0,11	DM/kWh
gasförmige und flüssige Brennstoffe		
Biogas ³⁾	0,50 DM/m ³	0,080 DM/kWh
Bio-Äthanol ³⁾	1,50 DM/l	0,130 DM/kWh
Leichtes Heizöl ⁴⁾	500,00 DM/t	0,043 DM/kWh
Erdgas ⁵⁾	0,30 DM/Nm ³	0,033 DM/kWh
Fernwärme		0,032 DM/kWh

Preisbasis 2. Halbjahr 1979
¹⁾ Hierzu wurden die 85er Preise auf das Jahr 1979 umgerechnet
²⁾ Jahresauslastung 5500 h/a
³⁾ Ab dezentraler Biokonversionsanlage
⁴⁾ Ab Grenze bzw. Raffinerie
⁵⁾ Einschließlich überregionaler Transport- und Speicherkosten

4.2 Vergleich verschiedener Raumheizungssysteme

Wurden bisher die Erzeugungskosten oder Importpreise der Energieträger berechnet, so wenden wir uns nun dem Kostenvergleich verschiedener Raumheizungssysteme für den Haushaltssektor zu.

Im Vergleich werden folgende Heizungssysteme herangezogen:

Zentrale Systeme:

- Fernwärmeheizung
- Ölkesselheizung
- Gaskesselheizung
- Nachstromspeicherheizung

Dezentrale Systeme:

- Solarsystem in Kombination mit einem Ölkessel
- Solarsystem in Kombination mit einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe
- Bivalente Motor/Generator-Anlage
- Bivalente elektrische Wärmepumpe in Kombination mit einem Ölkessel
- Bivalente gasmotorbetriebene Wärmepumpe.

Haben wir im Soft-Szenarium (s. Kap. 3) diejenigen Systeme ausgewählt, die ein möglichst hohes Angebotspotential besitzen, so betrachten wir in dem Wirtschaftlichkeitsvergleich Systeme, die aus heutiger Sicht wahrscheinlich am ehesten wettbewerbsfähig werden.

Damit die Systeme objektiv beurteilt werden können, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Zuerst ist es notwendig, eine einheitliche Bezugsbasis zu finden, die kein Energieversorgungssystem benachteiligt bzw. bevorzugt. Hierzu bietet sich als Basis die von den Verbrauchern nachgefragte Nutzenergie an, da diese um die systembedingten Wirkungsgrade bereinigt ist bzw. die darauf aufbauende Kostenrechnung sämtliche systembedingten Wirkungsgradverluste berücksichtigt.

- Weiterhin muß die Bezugsbasis repräsentativ ausgewählt werden, damit die Kosten in Abhängigkeit der relevanten Kosteneinflußgrößen abgebildet werden können. Hierzu wurde die regionale Wärmedichte MW/km² der Bundesrepublik Deutschland gewählt (s. Kap. 4.2.1).

- Damit die Kosten vollständig erfaßt werden, sind die Einstandspreise ab Grenze zu berücksichtigen, die Energieumwandlungskosten der zentralen Systeme, weiterhin die Transport-, Verteilungs- und Speicherkosten und schließlich die Hausinvestitionskosten. Dies gilt nicht nur für die zentralen Systeme, sondern anteilmäßig auch für die dezentralen Systeme, die in Kombination mit einem zentralen System betrieben werden. Aus der Addition dieser Einzelkosten ergeben sich die spezifischen Gesamtkosten in Pf/kWh, bezogen auf die abgegebene Nutzenergie (Energiedienstleistung) und in Abhängigkeit von der Wärmeanschlußdichte.

- Für die statische Berechnung wird das Jahr 1979 gewählt.

- Ausgehend von dem Jahr 1979 werden Preissteigerungsraten antizipiert, so daß wir sowohl für die zentralen als auch dezentralen Systeme die langfristigen Grenzkosten ermitteln können.

4.2.1 Wärmedichteprofil

Das wirtschaftliche Einsatzgebiet der Heizungssysteme wird entscheidend von der Wärmedichte bestimmt. In Gebieten hohen Wärmebedarfs (z.B. Stadtmitten) haben die leitungsgebundenen Energieträger (z.B. Fernwärme) aufgrund kürzerer Transport- und Verteilungsstrecken pro Abnehmer (d.h. pro Anschlußwert geringere Kapitalkosten) günstigere Wettbewerbschancen als in ländlichen Gebieten mit geringeren Wärmedichten.

Die Höhe des Wärmebedarfs im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher korreliert eng mit der Gebäudestruktur in Siedlungsnetzen. Der Raumheizungswärmebedarf wird durch Bauweise, Klima, Nutzungsart sowie durch Komfortansprüche bestimmt. Der Bedarf an Brauchwarmwasser ergibt sich aus Systemwahl, Anzahl der Zapfstellen, Personenzahl und deren

Komfortansprüchen. Beide Wärmebedarfskomponenten zeichnen sich durch eine flächenhafte Verteilung aus. Dies hat aufgrund unterschiedlicher Gebäudestrukturen zu Zonen verschiedener Wärmedichten in Siedlungsnetzen geführt.

In der Kernzone konzentriert sich der Kleinverbrauch mit hoher Leistungsdichte. In der Ringzone um die Kernzone findet man eine gemischte Belegung durch Haushalte und Kleinverbraucher mit mittleren Leistungsdichten vor, während in der Außenzone, die vorwiegend durch Haushalte beansprucht wird, ein hoher Anteil an Niedrigbebauung mit geringer Leistungsdichte bestimmend ist. Wie sich dies auf die Verteilung der Wärmeanschlußdichte in Abhängigkeit von Stadtgrößenklassen auswirkt, soll kurz skizziert werden. Die Stadtgrößenklassen werden folgendermaßen abgegrenzt:

Stadtgrößenklasse (SGK)	Einwohnerzahl	Häufigkeit
SGK I	500.000 und mehr	13
SGK II	100.000–500.000	56
SGK III	20.000–100.000	394
SGK IV	0– 20.000	10.460

Für jede Stadtgrößenklasse wurden mehrere Städte ausgesucht. Auf Stadtbezirksebene wurde das Strukturdatum bebaute Fläche (FB), vom Wärmebedarf her der Anschlußwert des Stadtbezirks (P_{AW}), die Anschlußdichte des Stadtbezirks (P_{AD}) und die durchschnittliche Anschlußdichte (\bar{P}_{AD}) der gesamten Stadt ermittelt. Zur Darstellung dieser Ergebnisse wurde das geordnete Wärmedichtenspektrum einer Stadt (Rangfolge der Anschlußwerte der Stadtbezirke) als Funktion des Gesamtanschlußwertes der Stadt bzw. der bebauten Fläche der Stadt dargestellt (s. Abb. 19). Weiterhin wurden für die ausgewählten Städte die Wärmeanschlußdichten über die auf 100 % genormten Gesamtanschlußwerte bzw. Gesamtbauflächen einer Stadt aufgetragen (Abszissen der Abb. 19). Die Wärmeanschlußdichten selbst wurden dabei auf die gleich 1 gesetzte Durchschnittswärmeanschlußdichte einer Stadt normiert (Ordinaten der Abb. 19). Mit Hilfe dieser Darstellung läßt sich feststellen, welchen Anteil am Anschlußwert einer Stadt eine bestimmte Anschlußdichte hat bzw. welcher Anteil an der bebauten Fläche durch diese Anschlußdichte eingenommen wird.

Am Beispiel der Stadtgrößenklasse I mit den ausgewählten Städten Stuttgart, München, Essen und Hannover kann der Kurvenverlauf wie folgt erläutert werden: Vom Flächendiagramm im unteren Teil der Abbildung ausgehend, läßt sich feststellen, daß im Kernbereich dieser Städte ein relativ kleiner Teil der bebauten Fläche (18 %) mit relativ hoher Anschlußdichte ($P_{AD}/\bar{P}_{AD} > 1,35$) beansprucht wird. Auf das Anschlußpotential der Städte bezogen, ergibt sich ein höherer Anteil von ca. 30 %. Die Ringzone um den Kernbereich hat etwa einen Anteil an der bebauten Fläche von 55 % bei einem Anschlußpotential von ebenfalls 55 % ($0,66 < P_{AD}/\bar{P}_{AD} < 1,35$). Die restlichen Flächenpotentiale von ca. 27 % entfallen auf die Außenzone der Stadt. Das Anschlußpotential beträgt für diese Zone etwa 15 %. Ähnliche Aussagen lassen sich auch für die anderen Städte und Stadtgrößenklassen erarbeiten. Über alle Städte und Stadtgrößenklassen gemittelt, erhalten wir die "typische" Wärmeanschlußdichteverteilung der Stadtgrößenklassen I bis IV (Abb. 20).

Damit wir letztlich das wirtschaftliche Einsatzpotential der Heizungssysteme abschätzen können, wird auf der Basis der Wärmedichteverteilungen die Verteilung des Anschlußwertes der Bundesrepublik Deutschland nach Wärmedichteklassen vorgenommen (Abb. 21).

Im oberen Teil des Diagramms sind Wärmeanschlußwerte in Abhängigkeit von typischen Wärmedichteklassen dargestellt.

Abb. 19: Wärmeanschlußdichteverteilung der Städte Stuttgart, München, Essen, Hannover (SGK I)

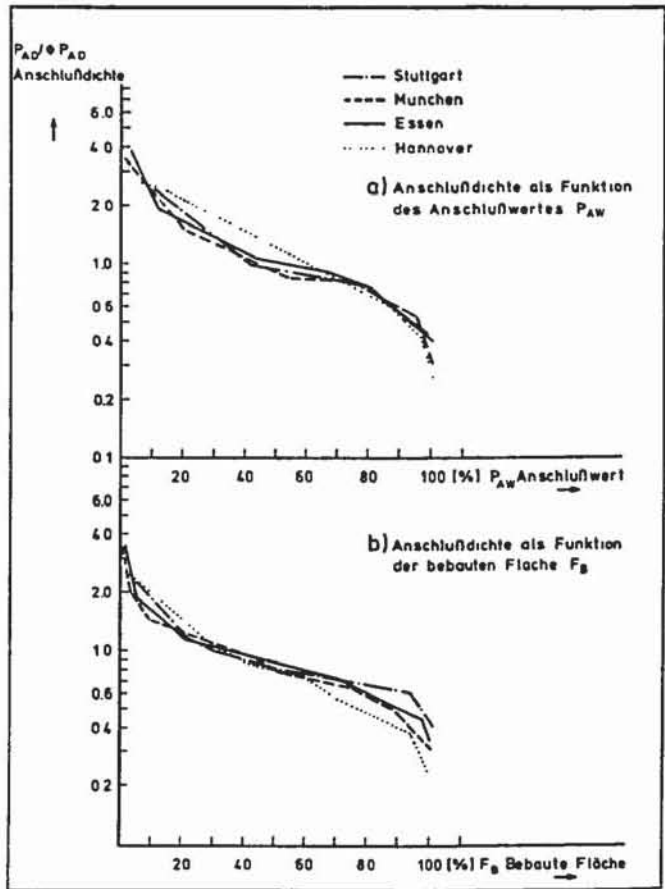
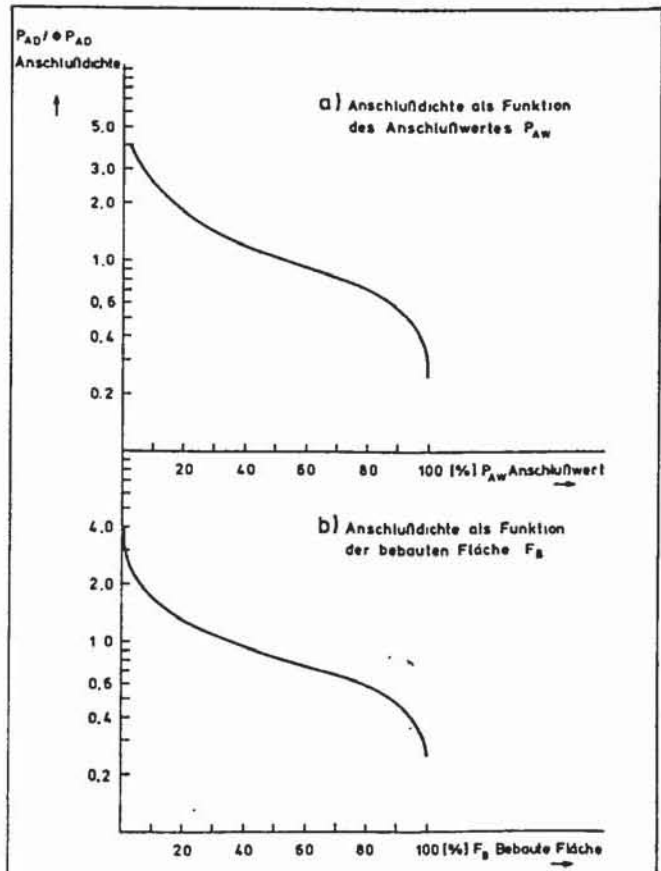


Abb. 20: "Typische" Wärmeanschlußdichteverteilung der Stadtgrößenklassen I–IV



Innerhalb einer Wärmedichteklasse erfolgt eine Aufschlüsselung der Potentiale nach Stadtgrößenklassen.

Entsprechend der Bebauungsstruktur in Siedlungsnetzen sind die Anschlußwerte in den einzelnen Wärmedichteklassen unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Kernzonen mit 60 - 200 MW/km² haben etwa einen Anteil von 13 % des Gesamtwärmeanschlußwertes der Bundesrepublik Deutschland für den Sektor Haushalte und Kleinverbraucher, wie man den Summenkurven im unteren Teil des Diagramms von Abb. 21 entnehmen kann. Diese Zonen liegen im wesentlichen in den Städten der SGK I und II, die die Zentren der Verdichtungs-räume der Bundesrepublik Deutschland bilden. In den Städten der SGK III und IV fehlen also ausgeprägte Kernzonen. Der Bereich mittlerer Wärmedichten, 20 - 60 MW/km², verteilt sich gleichmäßig über alle Stadtgrößenklassen und erfaßt die Ringzonen und teilweise bereits die Außenzonen (SGK I und II) der Städte. Das Potential dieses Bereichs beträgt etwa 51 %.

Die Zonen geringer Wärmedichten liegen im Bereich von 0 - 20 MW/km². Sie befinden sich in erster Linie in den Städten der SGK III und IV und auch in den Außenzonen größerer Städte. Der Anschlußwert dieser Wärmedichteklassen beträgt ca. 36 Prozent.

Der Schwerpunkt der Verteilung des Wärmedichteprofiles liegt eindeutig im Bereich von 10 - 40 MW/km², also in den Ring- und Außenzonen der Städte. Der Anteil dieses Bereichs beträgt ca. 65 % vom Wärmeanschlußwert. Dasjenige Heizungs-system, das in diesem Bereich kostenminimal ist – dies wird im Kap. 4.2.4 gezeigt –, besitzt somit das größte Marktpotential.

Ausführlich ist die Ermittlung des Wärmedichteprofiles in "Die räumlichen Wärmebedarfsverteilungen..." [54] beschrieben.

4.2.2 Transport- und Verteilungskosten

Die spezifischen Transport- und Verteilungskosten werden wesentlich von der Wärmeanschlußdichte bestimmt. In Zonen geringer Anschlußdichte steht einem geringen Anschlußwert beispielsweise bei leitungsgebundenen Energiesystemen die Notwendigkeit eines verzweigten Leitungssystems gegenüber. Für die Bundesrepublik Deutschland sind in Abb. 22 die spezifischen Transport- und Verteilungskosten der verschiedenen Energieversorgungssysteme als Funktion der Wärmeanschlußdichte des Sektors Haushalte und Kleinverbraucher dargestellt. Hierbei handelt es sich um Durchschnittswerte, deren Schwankungsbreite durch örtliche Gegebenheiten bis zu 50 % betragen kann.

Für die leitungsgebundenen Energiesysteme zeigt das Bild, daß mit wachsender Anschlußdichte eine starke Kostendegression eintritt. Verursacht wird dieser Trend durch die Tatsache, daß in Gebieten mit hoher Wärmeanschlußdichte die spezifischen Kosten weitaus geringer sind als in Gebieten mit niedriger Wärmeanschlußdichte. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt bei den Erd- und Verlegearbeiten, die den überwiegenden Kostenanteil von ca. 75 % im Verteilungsnetz tragen. Das Verteilungsnetz als solches beansprucht wiederum 85 % der gesamten Transport- und Verteilungskosten. Für die Elektrizitätsversorgung sind zwei Kostenkurven eingetragen. Die Kurve 1 spiegelt die Kosten der derzeitigen Elektrizitätsversorgung wider, deren Kapazität für Licht und Kraft ausgelegt ist und deshalb eine allelektrische Versorgung nur für ca. 10 % der Haushalte gewährleistet. Bei einem höheren elektrischen Versorgungsgrad wird eine Neugestaltung der Transport- und Verteilungssysteme notwendig. Die konventionellen Niederspannungsnetze müßten durch leistungsstärkere Mittelspannungs- oder sogar Hochspannungsnetze von 110 KV für Großabnehmer im Kerngebiet ersetzt werden. Da hierdurch nur die Materialkosten nicht aber die Erd- und Verlegearbeitskosten ansteigen, nehmen die spezifischen Transport- und Verteilungskosten ab (s. Kurve 3 in Abb. 22).

Abb. 21: Verteilung des Anschlußwertes der BRD nach Wärmedichteklassen (1990, Einsparung)

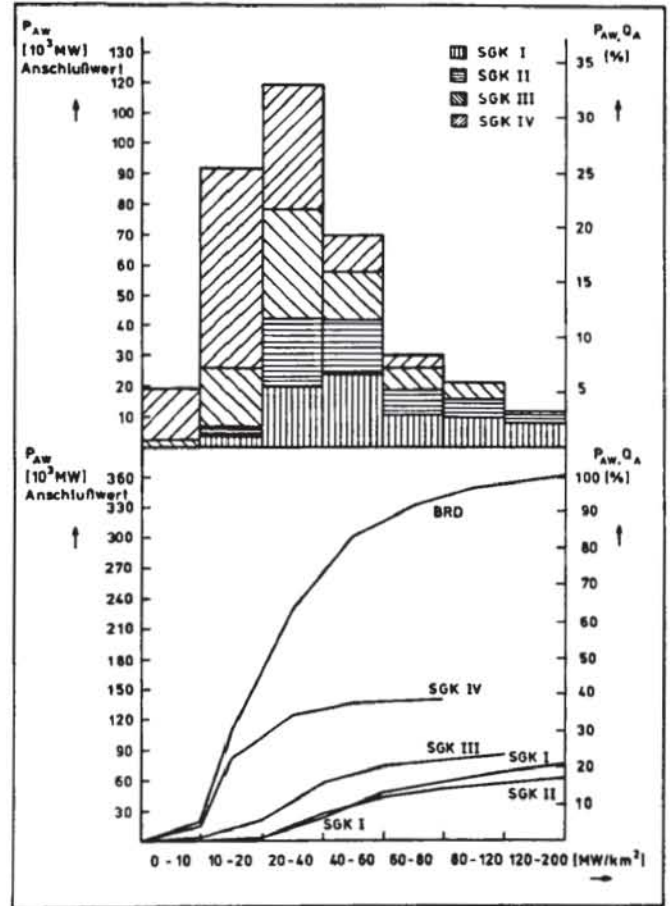
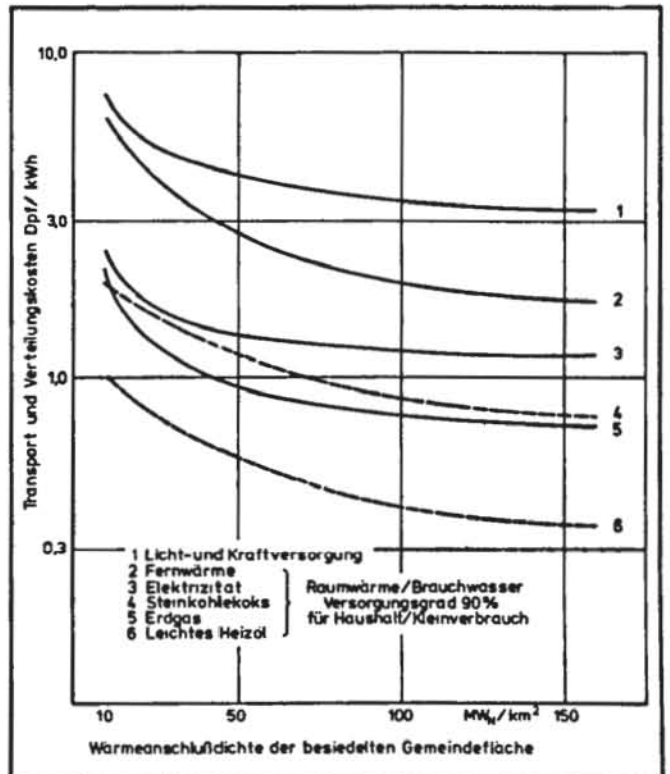


Abb. 22: Transport- und Verteilungskosten verschiedener Energieversorgungssysteme



Für die nichtleitungsgebundenen Energieträger, das leichte Heizöl und den Steinkohlenkoks, ergibt sich kein gleichartiger Verlauf, da hier die Kostendegression nur schwach ausgeprägt ist.

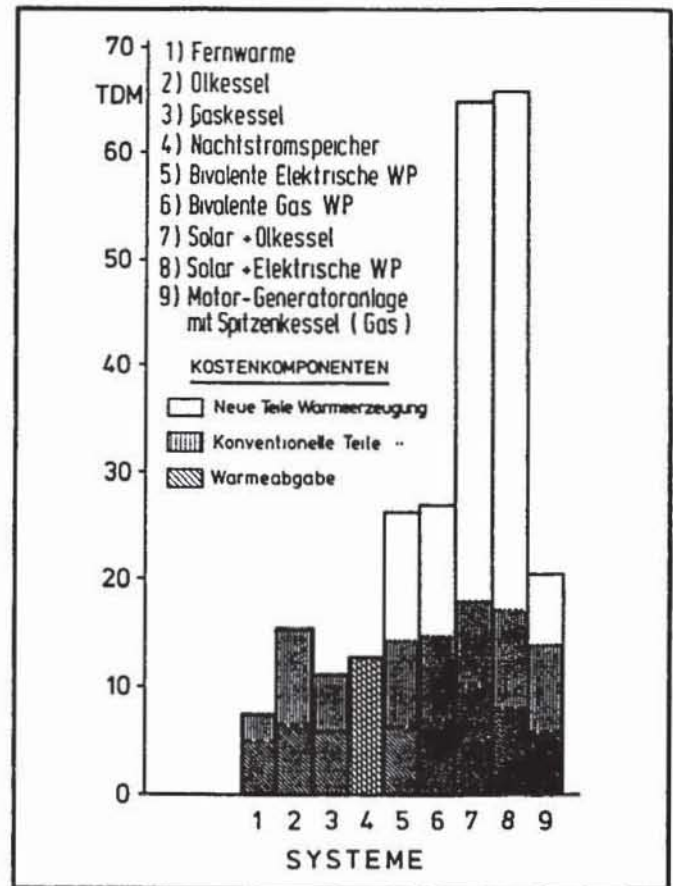
Bei einer für die Bundesrepublik Deutschland durchschnittlichen Wärmeanschlußdichte von 30 MW_N/km² bewegen sich die spezifischen Wärmeübertragungskosten mit Ausnahme der Fernwärmeversorgung zwischen 0,6 und 1,5 Pf/kWh.

Eine detaillierte Beschreibung der Datenbasis und der Verfahren zur Ermittlung der Transport- und Verteilungskosten findet sich in "Transport- und Verteilungskosten..." [55].

4.2.3 Hausinvestitionskosten

Auf der Basis von Umfragen bei Heizungs-, Wärmepumpen- und Kollektorherstellern sowie Installateuren wurden die Anlagekosten für Ein- und Zweifamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und größere Wohnblöcke ermittelt. Aufgeschlüsselt nach Wärmebereitstellungssystem und Haustyp wurde dies in der "Arbeit Niedertemperatur-Wärmeversorgung..." [56] veröffentlicht. Abb. 23 zeigt beispielsweise für ein Ein- bis Zweifamilienhaus mit 20 kW Anschlußleistung die Anlagekosten. Diese wurden aufgliedert nach dem Wärmeerzeugungsteil (z.B. Ölkessel) und dem Wärmeabgabeteil (Radiatoren etc.). Weiterhin wurde der Erzeugungsteil nochmals unterteilt in neue Anlagenteile (z.B. Sonnenkollektor) und den konventionellen Anlagenteilen (z.B. Ölzusatzkessel). Es zeigt sich, daß die zentralen Heizungssysteme die geringsten Kosten aufweisen. Von den zentralen Systemen erreicht die Ölkesselheizung, die als einziges zentrales System einen Tank und einen dementsprechend umbauten Raum benötigt, die höchsten Investitionskosten. Von den dezentralen Systemen verursacht

Abb. 23:
Anlagekosten Ein- bis Zweifamilienhaus (20 kW)



Heizungssystem	η	ϵ	Anteil der Jahresnutzwärme (%)
Fernwärmeheizung	0,80		100
Ölkesselheizung	0,70		100
Gaskesselheizung	0,70		100
Nachstromspeicherheizung	0,95		100
Bivalente elektr. Wärmepumpe in Kombination mit einem Ölkessel	0,70	3,00	70 Wärmepumpe 30 Ölkessel
Bivalente gasmotorbetriebene Wärmepumpe in Kombination mit einem Gaskessel	0,70	1,50	85 Wärmepumpe 15 Gaskessel
Solarsystem in Kombination mit einem Ölkessel	0,70		55 Solarsystem 45 Ölkessel
Solarsystem in Kombination mit einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe		1,61	58 direkter Solaranteil 42 indirekter Solaranteil (Wärmepumpe über Solarspeicher)
Gasbetriebene Motor-/Generator-Anlage in Kombination mit einem Ölkessel	0,50 Motorwärme ¹⁾ 0,70 Ölkessel 0,30 Stromerz. ¹⁾		90 Motorabwärme 10 Ölkessel

Abb. 24:

Nutzungsgrade und Leistungsziffern von Heizungssystemen

η = mittlerer jährlicher Nutzungsgrad

ϵ = mittlere jährliche Leistungsziffer

¹⁾ genutzte Motorabwärme bezogen auf den Brennstoffbedarf des Motors

die Solaranlage bei einer Kollektorfläche von 100 m² und einem Speichervolumen von 8 m³ etwa 4 mal so hohe Kosten wie die Ölkesselheizung. Auch die Kosten der Wärmepumpensysteme liegen im Vergleich zur Ölkesselheizung noch doppelt so hoch. Relativ günstig schneidet die Motor/Generator-Anlage ab.

4.2.4 Gesamtkosten

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die Erzeugungskosten, die Importpreise sowie die Transport- und Verteilungskosten und die Hausinvestitionskosten für die verschiedenen Energiesysteme ermittelt wurden, können diese Teilkosten zu Gesamtkosten addiert werden. Diese werden als spezifische Gesamtkosten, bezogen auf die abgegebene Nutzwärme der Heizungssysteme in Abhängigkeit der Wärmeanschlußdichte ausgewiesen. Zu diesem Zweck werden die vorher ermittelten Teilkosten um die Nutzungsgrade der Heizungssysteme be-

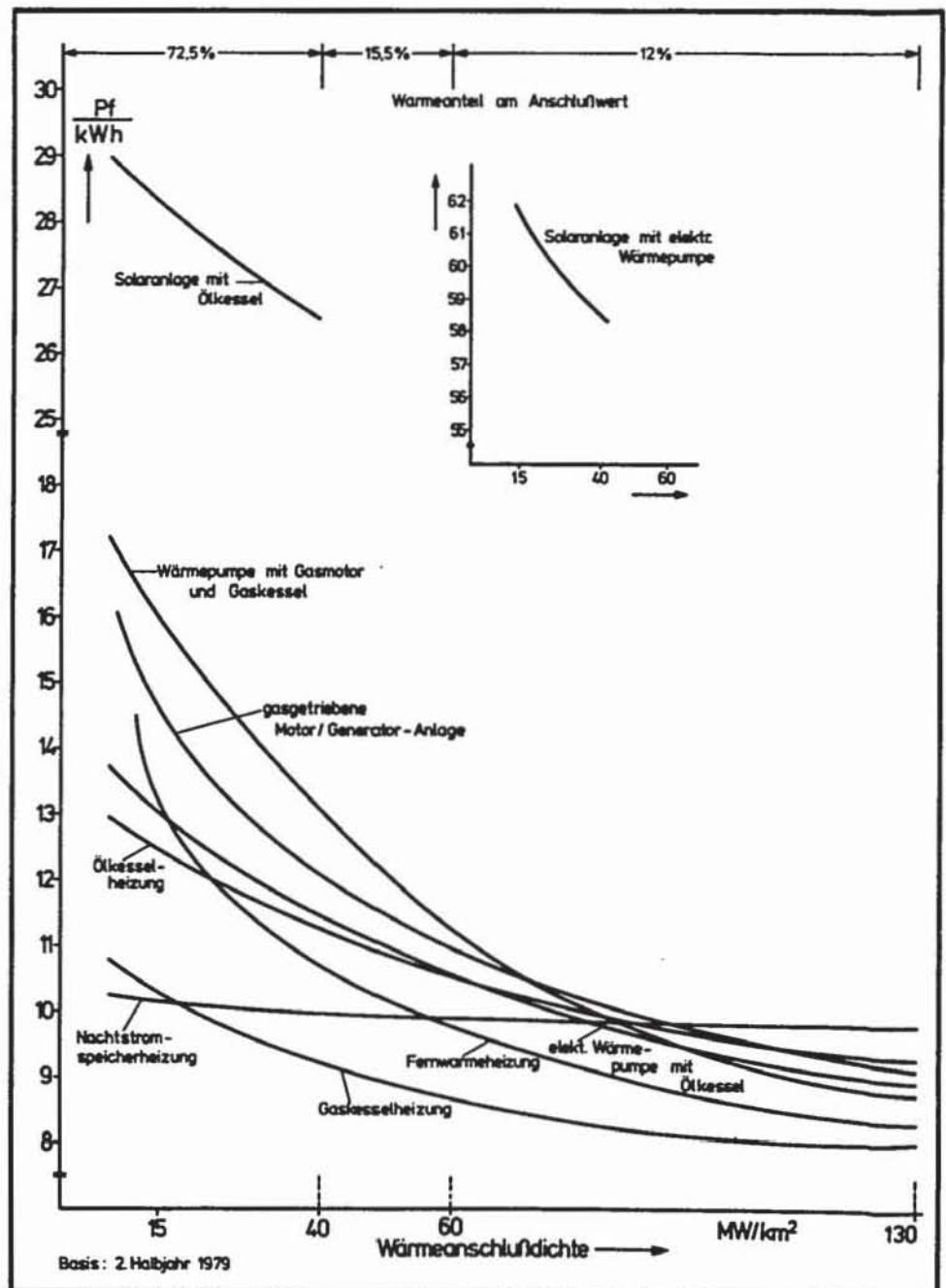
reingt. Als Nutzungsgrade und Leistungsziffern für die Wärmepumpen wurden folgende Annahmen getroffen (s. Abb. 24):

Für Heizungssysteme, die Elektrizität einsetzen, wird nur mit den Teilkosten (Brennstoffkosten) gerechnet, da davon ausgegangen wird, daß diese Systeme nur das tägliche und/oder saisonale Lasttal ausnutzen und deshalb keine zusätzlichen Leistungsinvestitionen und damit Kapitalkosten verursachen. Als Kalkulationsgrundlage wurde der heutige Kraftwerkspark und die derzeitigen spezifischen variablen Stromerzeugungskosten der Kraftwerke gewählt. Zu diesem Zweck wurde der Kraftwerkspark nach Kraftwerkstypen und ihrem Anteil an der installierten Bruttoengpaßleistung und Jahresauslastung aufgeschlüsselt. Auf der Basis dieser Kalkulationsgrundlage ergeben sich Stromerzeugungskosten von 5 Pf/kWh bei Teilkosten.

Als Stromgutschrift werden für die Motor/Generator-Anlage 7 Pf/kWh berücksichtigt.

Als Ergebnis des Wirtschaftlichkeitsvergleichs läßt sich aus Abb. 25 für das Basisjahr 1979 folgendes festhalten:

Abb. 25:
Derzeitige Gesamtkosten von Heizungssystemen



- Die zentralen Heizungssysteme sind bei jeder Anschlußdichte am kostengünstigsten.
- Die Erdgasheizung besitzt nicht nur das größte wirtschaftliche Einsatzfeld, sondern weist zudem in den Gebieten hoher Wärmenachfrage (10 - 60 MW/km²) die größten Kostenvorteile auf.
- Die Ölheizung liegt zwar noch im Wirtschaftlichkeitsbereich, ist aber nicht mehr das kostengünstigste System.
- Die Fernwärme erreicht nur mit zunehmender Anschlußdichte den Wirtschaftlichkeitsbereich.
- Für die Nachtstromspeicherheizung zeigt sich, daß diese in Gebieten niedriger Anschlußleistung im Wirtschaftlichkeitsbereich liegt. Dies gilt aber nur für den Fall, daß sie ausschließlich zum Ausfüllen von Lasttälern eingesetzt wird. Führt die Installation von Nachtstromspeicherheizungen zu Zusatzinvestitionen, so müßten sie mit Vollkosten belastet werden.
- Die bivalenten Wärmepumpen wachsen mit zunehmender Anschlußdichte in den Wirtschaftlichkeitsbereich hinein.

Hierbei zeigt sich, daß die gasmotorbetriebene Wärmepumpe günstiger ist als die elektrisch betriebene Wärmepumpe, obwohl nur Teilkosten berücksichtigt wurden. Noch ungünstiger sieht das Bild für die elektrisch betriebene Wärmepumpe aus, wenn statt mit den Kraftwerksteilkosten mit den Kraftwerksgesamtkosten gerechnet würde; hier erhöhten sich dann die spezifischen Gesamtkosten um ca. 1,8 Pf/KWh.

- Die Motor/Generator-Anlage wird bei hohen Anschlußdichten wirtschaftlich.
- Beide Solarsystem liegen weit außerhalb der Wirtschaftlichkeitsschwelle.

Stellt die Abb. 25 die derzeitige Kostensituation dar, so ist diese als Entscheidungsgrundlage noch unzureichend. Vielmehr müssen die zukünftigen Kosten berücksichtigt werden, um ein Bild von den wirtschaftlichen Einsatzchancen der neuen Heizungssysteme zu erhalten. Zur Abschätzung der zukünftigen Kosten ist eine Variation vieler Parameter denkbar. Wir wählen als Parameter die Brennstoffkosten aus, da diese hinsicht-

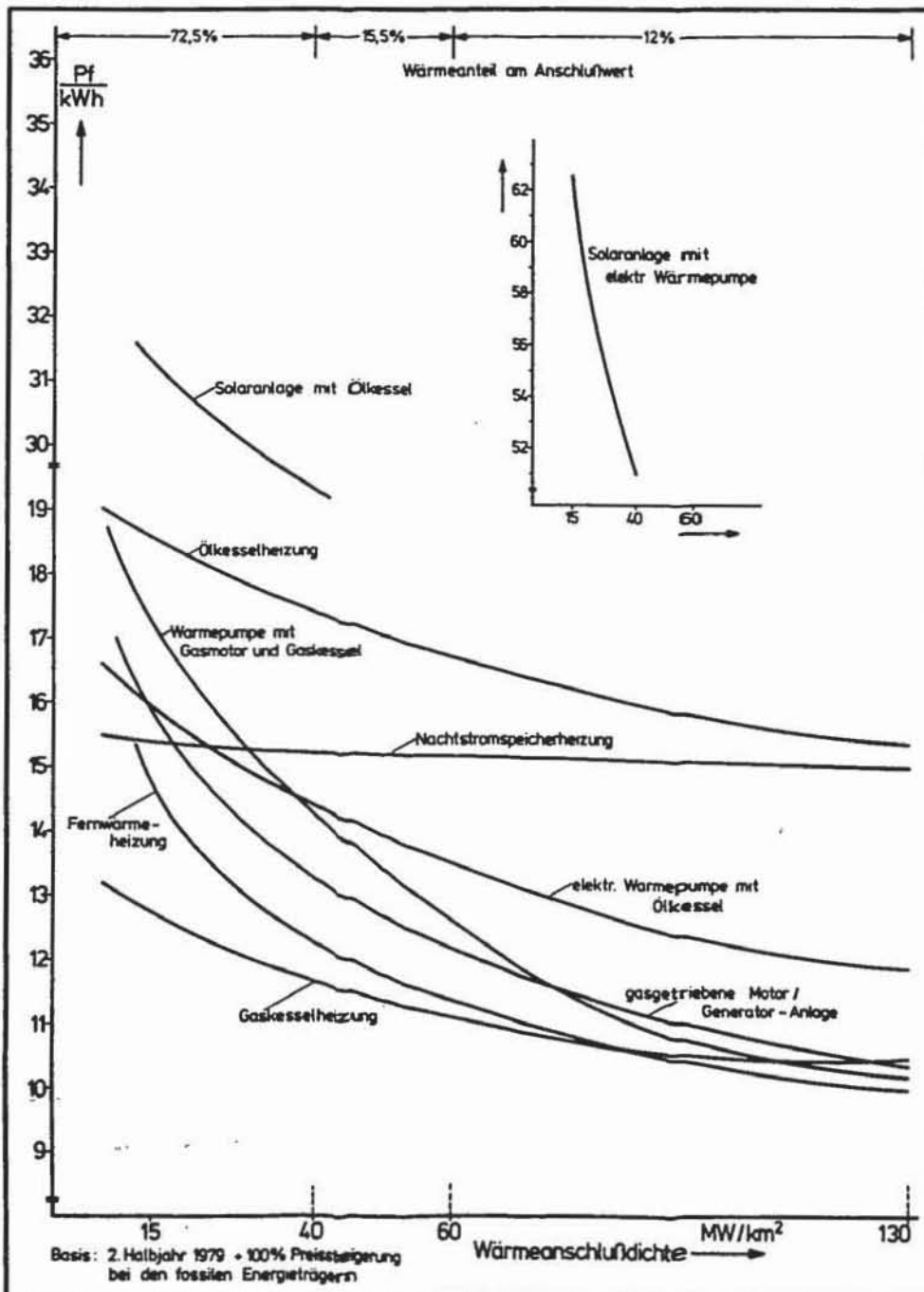


Abb. 26:
Zukünftige Gesamtkosten von Heizungssystemen

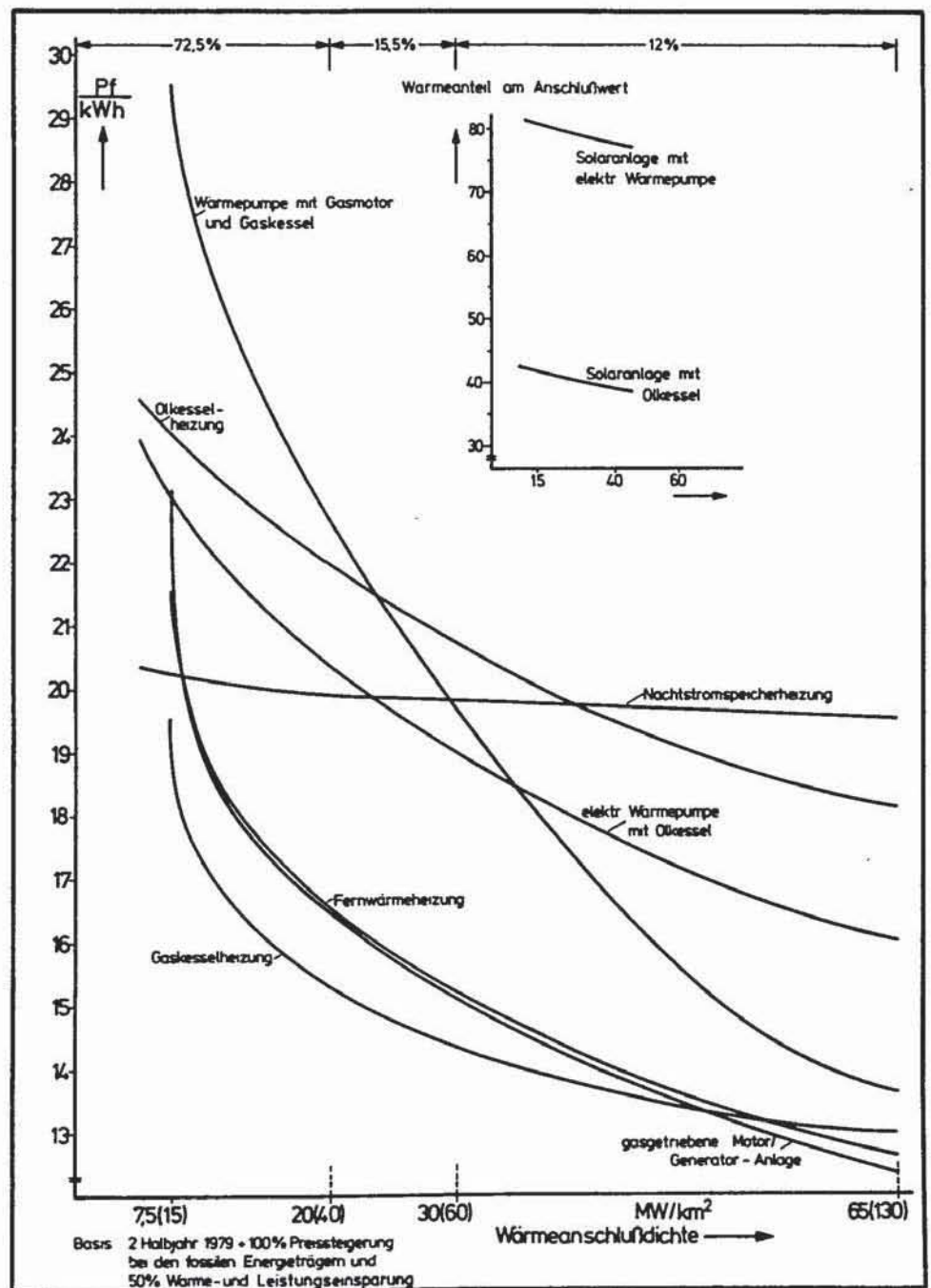
lich ihrer zukünftigen Entwicklung nicht nur die größten Unsicherheiten aufweisen, sondern darüber hinaus der Preisanstieg derzeitiger Brennstoffe die Kostendifferenz zwischen den traditionellen und den "sanften Energiesystemen" zu Lasten der traditionellen Energiesysteme verringert. Als Preissteigerung für die fossilen Energieträger haben wir 100 % gewählt, eine Annahme die in den nächsten Jahren eintreffen kann. Die übrigen Kosten wurden konstant gehalten. Als Ergebnis läßt sich festhalten (Abb. 26), daß

- die Gasheizung ihre Wettbewerbsvorteile zugunsten der Fernwärme verringert hat,
- die Ölheizung außerhalb des Wettbewerbsbereiches gerutscht ist,
- dafür aber die gasmotorbetriebene Wärmepumpe und die Motor/Generator-Anlage ihre Kostennachteile verringert haben,
- die Solarsysteme immer noch außerhalb der Wirtschaftlichkeitsschwelle liegen.

Wurden die vorherigen Abbildungen auf der Basis des derzeitigen Wärmebedarfs ermittelt, so liegt der Abb. 27 die Überlegung zugrunde, daß die Preise der fossilen Energieträger um 100 % steigen, gleichzeitig aber der Wärme- und Leistungsbedarf der Haushalte durch Wärmeeinsparmaßnahmen in Zukunft um 50 % gesenkt werden kann. Hierdurch ergeben sich zwar absolut gesehen geringere Brennstoff- und Anlagekosten, aber höhere spezifische Anlagekosten, da hier der Vorteil der Anlagengrößendegression nicht mehr wirkt. Höhere Kosten zur Wärmeisolierung, die bei jedem System in gleicher Höhe anfallen, wurden nicht berücksichtigt. Als Ergebnis zeigt Abb. 27, daß selbst bei forcierter Energie- und Leistungseinsparung keine entscheidenden Kostenrelations-Änderungen eintreten.

Trotz der Unsicherheiten, die in Wirtschaftlichkeitsberechnungen einfließen, wird deutlich, daß selbst bei Energiepreissteigerungen die zentralen Heizungssysteme nicht nur wettbewerbsfähig bleiben, sondern sogar die geringsten Gesamtkosten aufweisen.

Abb. 27:
Zukünftige Gesamtkosten von Heizungssystemen unter Berücksichtigung von Wärmeeinsparungen



5. Ökologische Auswirkungen und volkswirtschaftliche Implikationen der "sanften" Energieversorgung

Wurde im Kap. 3 das "sanfte Energieversorgungspotential" abgeschätzt und im 4. Kapitel ein Wirtschaftlichkeitsvergleich auf der Basis betriebswirtschaftlicher Kosten durchgeführt, so sollen im Folgenden weiterführende ökologische und volkswirtschaftliche Implikationen des "sanften Weges" diskutiert werden. Mehrere Aspekte sind hierbei von Bedeutung:

- Nutzungsgrade
- Emissionsbelastungen
- Kapitalbedarf
- Arbeitskräfteeinsatz und
- Flexibilität der Energiesysteme.

5.1. Nutzungsgrade

Bei dem Vergleich zwischen den Nutzungsgraden von zentralen und dezentralen Energiesystemen beschränkten wir uns ebenso wie bei dem Wirtschaftlichkeitsvergleich auf die Raumheizsysteme. Als Vergleichsbasis wählten wir den spezifischen End- und Primärenergiebedarf, der zur Erzeugung einer Einheit Nutzwärme notwendig ist. Die Ergebnisse der Analyse sind in den Abb. 28 und 29 dargestellt.

Aus Abb. 28 wird ersichtlich, daß alle 4 zentralen Heizungssysteme einen spezifischen Endenergiebedarf besitzen, der größer als 1 ist. Einen spezifischen Endenergiebedarf unter 1 weisen die drei Wärmepumpenanlagen sowie die Solaranlagen aus. Zur Beurteilung der Motor-Generatoranlage muß erwähnt werden, daß hier der gesamte Endenergiebedarf sowohl zur Wärme- als auch zur Stromerzeugung aufgetragen wurde.

Dabei zeigt die gestrichelte Linie den Endenergieverbrauch dieses Systems reduziert um den erzeugten Strom. Endenergetisch beurteilt schneidet dieses System am schlechtesten ab. Ein energetischer Vergleich verschiedener Raumheizungssysteme ist erst dann objektiv, wenn man den notwendigen Primärenergieeinsatz der zentralen Umwandlung auf eine Einheit Nutzwärme bezieht. Neben den Umwandlungswirkungsgraden werden zudem die Transport- und Verteilungsverluste kalkuliert, die während des Energietransports vom Umwandlungsbereich zu den Haushalten entstehen. Für die einzelnen zentralen Umwandlungssysteme werden folgende Wirkungsgrade (Endenergie/Primärenergie) einschl. der Transport- und Verteilungsverluste angesetzt:

- Fernwärme	
Heizkraftwerke	3,11
Heizwerk	0,72
- Erdgas	0,96
- Elektrizität	0,33
- Heizöl	0,94

Der Erzeugung von Fernwärme aus Heizkraftwerken wurde nur der Energiemehrverbrauch gegenüber reiner Stromerzeugung angelastet. Bei der Analyse der Motor/Generator-Anlage ist der erzeugte Strom primärenergetisch mit einem Umwandlungswirkungsgrad von 33 % bewertet und als Gutschrift vom gesamten Primärenergiebedarf dieses Systems abgezogen worden.

Der Vergleich der untersuchten Systeme zeigt (s. Abb. 29), daß die zentralen Systeme den höchsten spezifischen Primärenergiebedarf haben, wobei die Fernwärme jedoch eine Sonderstellung einnimmt. Der Primärenergiebedarf liegt hier beson-

Abb. 28: Spezifischer Endenergiebedarf bezogen auf den Nutzenergiebedarf verschiedener Heizungssysteme

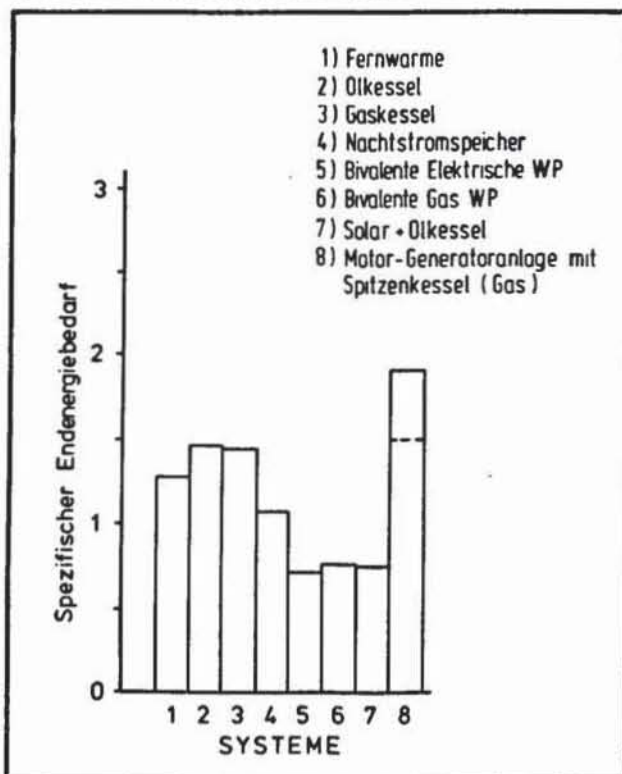
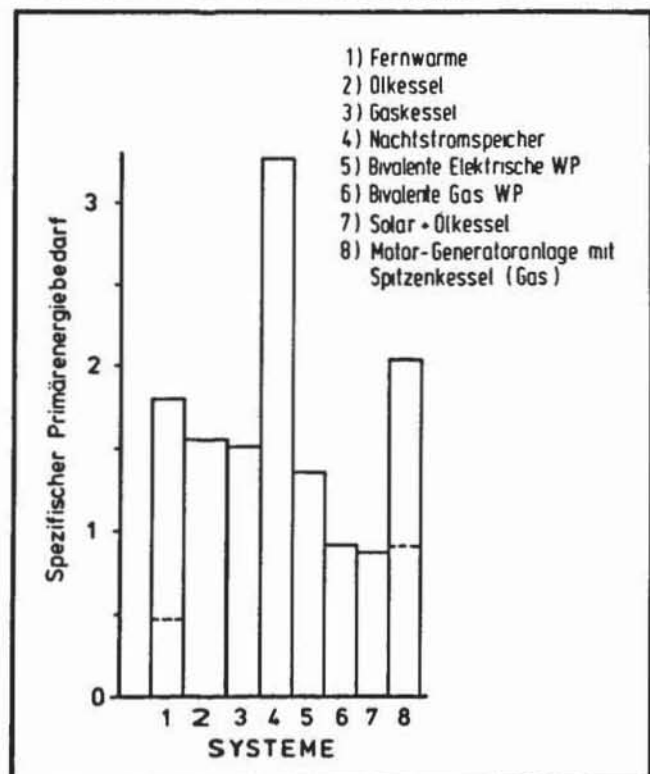


Abb. 29: Spezifischer Primärenergiebedarf bezogen auf den Nutzenergiebedarf verschiedener Heizungssysteme



ders günstig, wenn er aus Heizkraftwerken stammt (gestrichelte Linie im Balkendiagramm des Systems 1 in Abb. 29). Den höchsten Primärenergiebedarf erreicht die Nachtstromspeicherheizung. Er liegt etwa doppelt so hoch wie der Primärenergiebedarf der Öl- und Gaskesselheizung. Die bivalente elektrische Wärmepumpe liegt zwischen den Kesselheizungen und der gasmotorbetriebenen Wärmepumpe. Der Primärenergiebedarf eines Solarsystems variiert entsprechend der Dekkungsrate. Für die hier gewählte Auslegung (Solaranteil 55 %) liegt der Primärenergiebedarf in der Größenordnung der gasmotorbetriebenen Wärmepumpe. Unter Berücksichtigung der primärenergetischen Gutschrift für den erzeugten Strom erreicht auch die Motor/Generator-Anlage einen Primärenergiebedarf, der in der Größenordnung der gasmotorbetriebenen Wärmepumpe liegt [57].

5.2 Emissionen

Emissionen sind ein wesentlicher Teil der Umwelteinflüsse, die bei der Energieumwandlung auftreten. Das Spektrum der gesamten Umwelteinflüsse ist äußerst breit. Dazu einige Beispiele:

Durch die Verbrennung von Steinkohle wird Schwefeldioxid an die Luft freigesetzt. Dies kann lokal und regional zu gesundheitlichen Belastungen der Anwohner führen. Lokale Belastungen treten in Ballungsgebieten auf, wenn ein dort arbeitendes Kraftwerk nicht über einen ausreichend hohen Schornstein verfügt, um die Emissionen zu verdünnen. Andererseits kann ein solches Verdünnungsverfahren über viele hundert Kilometer von den Quellen entfernt zu Niederschlägen führen, die Flüsse ansäuern und die Biotop der Gewässer derart verändern, daß das Leben der Fische beeinträchtigt wird. Gegenmaßnahmen zur Rauchgasentschwefelung führen bei verschiedenen Verfahren zu Problemen bei der Deponie der großen anfallenden Gipsmengen.

Gewinnung und Transport von Öl können zur Verschmutzung der Meere und der Städte führen. Bei den modernen Methoden der "off shore" Ölgewinnung gelangen z.B. jährlich etwa 1 Mio t Öl ins Meer.

Allgemein wird durch jede Verbrennung fossiler Energieträger Kohlendioxid in die Atmosphäre gebracht; dadurch können Klimaänderungen nicht ausgeschlossen werden.

Bei der Nutzung der Kernenergie geben Kernkraftwerke und Wiederaufarbeitungsanlagen im Normalbetrieb radioaktive Stoffe über den Kamin und mit dem Abwasser an die Umgebung ab, deren jährliche Mengen nur einen Bruchteil der natürlichen Strahlenbelastung ausmachen. Aber auch hier kann ein Restrisiko durch Kraftwerksunfälle nicht ausgeschlossen werden.

Selbst die regenerativen Energiequellen sind nicht gefahrenfrei. Bei der Nutzung der Wasserkraft sind durch Dammbüche schon Zehntausende von Menschen ums Leben gekommen. Abgesehen von diesem Katastrophenrisiko führt jedes Wasserkraftwerk zu einem erheblichen Eingriff in das Ökosystem mit häufig weitreichenden Konsequenzen. Der Bau des Assuan Staudamms und die daraus resultierenden negativen Folgen für das Nildelta haben dies deutlich gemacht. Die Nutzung der Sonnenenergie in großtechnischem Maßstab, etwa in sogenannten Solar-Farmen, kann zu Klimaänderungen aufgrund der Albedo-Änderung der Erdoberfläche führen. Ebenso kann der großtechnische Ausbau von Windkraftanlagen zu einer Änderung der regionalen Windverhältnisse führen.

Diese vielfältigen Probleme machten es bis heute unmöglich, einen umfassenden Vergleich über Umweltauswirkungen zu erarbeiten, so daß wir uns auf Emissionen als vermutlich umweltgefährdenste Belastungen beschränken.

Die Emissionen können wir unterscheiden in lokale Emissionen, die am Ort der Nutzwärmeverwertung entstehen, und in die Emissionen, die bei den vorgelagerten Energieumwandlungsbereichen (Raffinerien, Kraftwerke, Transportleitungen usw.) auftreten.

Abb. 30:
Spezifische Emissionen bei der zentralen Energieumwandlung bezogen auf die Endenergie [g/kWh]

Zentraler Umwandlungsbereich	Emissionen				
	SO ₂	NO _x	CO	C _m H _n	Staub
Stromerzeugung ¹⁾	6,0	2,0	0,07	0,04	0,9
Fernwärmeerzeugung ¹⁾					
– Heizkraftwerke	2,15	0,9	0,026	0,018	0,084
– Heizkraftwerke ²⁾	1,92	0,83	0,022	0,011	0,05
Raffinerien	0,2	0,08	0,002	0,2	0,002
Erdöl-/Erdgasgewinnung	keine Daten verfügbar				

¹⁾ fossile Energieträger

²⁾ bezogen auf den Energieeinsatz zur Kraft- und Wärmeerzeugung

Abb. 31:
Spezifische Emissionen bei der dezentralen Energieumwandlung bezogen auf die Endenergie [g/kWh]

Dezentraler Umwandlungsbereich	Emissionen				
	SO ₂	NO _x	CO	C _m H _n	Staub
Hausfeuerung					
– Heizöl	0,5	0,15	0,2	0,4	0,01
– Erdgas	0,0007	0,1	0,1	0,04	0,0007
Verbrennungsmotoren					
– Dieselmotoren	0,5	2,0	1,0	0,4	0,1
– Gas-Otto-Motoren	–	1,2	0,5	0,4	–

Ausgehend von den spezifischen Emissionen bei der Energieumwandlung, wie dies die Abb. 30 und 31 zeigen, wurden für die Systeme der spezifischen Emissionen am Ort der Nutzwärmeverwendung und die Emissionen, die in zentralen Umwandlungsbereichen entstehen, berechnet [59].

Den Emissionswerten der zentralen Umwandlung liegen die Daten der derzeit installierten Kraftwerkstechnik zugrunde. Eine Ausnahme wurde bei der Nachtstromheizung gemacht. Hier wurde angenommen, daß durch den Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen im Kraftwerk die SO₂-Emissionen um 60 % gesenkt werden können. Zudem kann durch die Wirbelschichtfeuerung der bei der Strom- und auch Fernwärmeerzeugung anfallende Schwefel wesentlich reduziert werden [61].

Für SO₂, NO_x und Staub zeigt Abb. 32 die Zusammenfassung der Emissionen bezogen auf eine Einheit Nutzwärme [59]. Die niedrigsten Gesamtemissionen hat die Gaskesselheizung [60]. Die höchsten Emissionswerte erreicht die Nachtstromspeicherheizung trotz einer angenommenen Reduzierung der SO₂-Emissionen um 60 % durch den Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen. Bei entsprechendem Kostenaufwand ist eine fast vollständige Rückhaltung möglich. Wäh-

rend die Emissionen der Kesselheizungen überwiegend dezentral anfallen, werden die Emissionen des elektrischen Systems zentral erzeugt. Die zentralen Systeme haben den Vorteil, daß mit Rückhalteeinrichtungen (Filter etc.) die Emissionen leichter zu reduzieren sind und mit hohen Schornsteinen die Immissionswirkungen verringert werden können. Die Anlagen mit einem Verbrennungsmotor zeichnen sich durch hohe Stickoxid-Emissionen aus, die überwiegend dezentral anfallen. Eine Verringerung dieser Werte erscheint bei einem Einsatz solcher Systeme erforderlich.

5.3 Kapitalbedarf

Dezentrale Energiesysteme sind – so wie es auch von den Befürwortern des "sanften Weges" geäußert wird – überschaubarer und auf den ersten Blick scheinbar weniger kapitalintensiv als zentrale Energiesysteme. Unsere Analyse in Kap. 2.3 zeigte aber schon, daß Großkraftwerke spezifisch weniger Material benötigen als Kleinkraftwerke und auch die Hausinvestitionskosten von zentralen Heizungssystemen niedriger sind als von dezentralen Heizungssystemen (Kap. 4.2.3). Wird der gesamte Kapitalbedarf zur

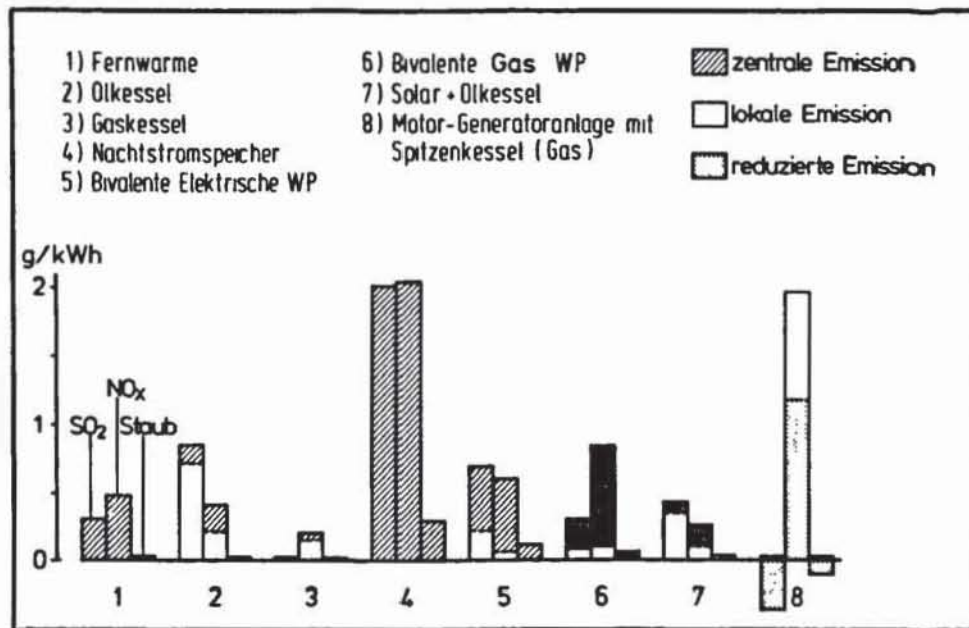


Abb. 32: Spezifische Emissionen verschiedener Heizsysteme

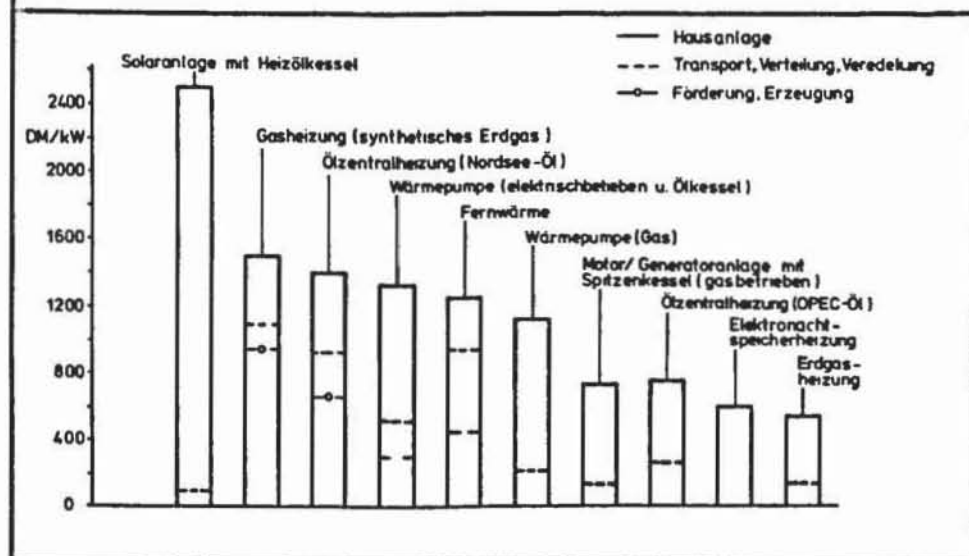


Abb. 33: Kapitalbedarf alternativer Heizungssysteme (Basis 1979)

- Förderung, Erzeugung
- Transport, Verteilung, Veredlung und
- Hausanlage

zusammengefaßt, der für den Bau von Energiesystemen benötigt wird, so zeigt sich, daß die Solaranlage mit Heizkessel den höchsten Kapitalbedarf hat (s. Abb. 33). Den geringsten Kapitalaufwand beanspruchen die derzeitigen Heizungssysteme. Das Mittelfeld wird von den Wärmepumpen, der Fernwärme und der Motor/Generator-Anlage ausgefüllt. Ungünstiger sieht das Bild für die Öl- und Gaszentralheizung dann aus, wenn für das Öl statt der geringen OPEC-Förderkapitalkosten (nicht die Preise) die Kapitalkosten der Nordseeförderung angesetzt werden und für das Gas eine nukleare Kohlevergasungsanlage angenommen wird. Für die Elektronachtspeicherheizung wurden nur die Hausinvestitionskosten berücksichtigt, da sie nur dann eingesetzt wird, wenn sie die nächtlichen Leerkapazitäten nutzt (Ausgleich des Tag/Nacht-Nachfrages). Müßte der Heizstrom durch Windkraftanlagen bereitgestellt werden, so ergäben sich gesamte Kapitalkosten in Höhe von rd. 5600 DM/kW (ohne Reservekapazität).

5.4 Arbeitskräfteeinsatz

Stand in der Vergangenheit die Frage im Vordergrund, welcher Zusammenhang zwischen industriellem Energieverbrauch und Arbeitskräfteeinsatz besteht, so wird derzeit darüber diskutiert, wieviel Arbeitskräfte durch den Bau und Betrieb von Kraftwerken gebunden werden. Die erste Frage konnte dahingehend beantwortet werden, daß bei Rationalisierungsinvestitionen und konstantem Produktionsvolumen der Arbeitskräfteeinsatz abnahm, hingegen der Energieverbrauch anstieg. War diese Entwicklung für die Vergangenheit typisch, so braucht dieser Trend nicht für die Zukunft zu gelten, denn Rationalisierungs- und Energieeinsparinvestitionen schließen sich nicht gegenseitig aus, sondern können sich ergänzen. Infolgedessen könnte in Zukunft selbst bei einer Reduzierung des Arbeitskräfteeinsatzes der Energieverbrauch langsamer ansteigen als in der Vergangenheit. Zur Beantwortung der Frage, wieviel Arbeitskräfte für den Bau und Betrieb von zentralen und dezentralen Kraftwerken eingesetzt werden müssen, liegt derzeit für deutsche Verhältnisse keine Antwort vor. Für amerikanische Verhältnisse kommt eine Studie zu dem Ergebnis, daß zur Herstellung der Kraftwerkskomponenten (Kessel, Turbine, etc.) und der Kraftwerkserstellung am Standort des Betriebes rd. das Doppelte an Arbeitskräften für dezentrale Kraftwerke benötigt wird wie für zentrale Kraftwerke [62]. Diese Aussagen erscheinen plausibel, da dezentrale Kleinanlagen einen höheren spezifischen Materialeinsatz benötigen als zentrale Großanlagen (s. Kap. 2.3) und bei gleicher Produktionsstruktur deshalb auch mehr Arbeitskräfte zur Materialbearbeitung binden. Wird die Prämisse gleicher Produktionsstruktur aufgehoben, so ist mit einem weiteren Arbeitskräfteanstieg zu rechnen, da dezentrale Anlagen nicht nur in Großunternehmen, sondern auch mit relativ einfacher handwerklicher Arbeitsleistung bei geringerer Produktivität erstellt werden können. Wird dieses Ergebnis in den USA und evtl. auch in der Bundesrepublik Deutschland als Mittel zum Abbau der Arbeitslosenquote positiv beurteilt, so ist diese Schlußfolgerung mehr als fraglich.

Entwickelte der Mensch bislang die Technik, um körperliche Arbeit zu reduzieren, so wird hier das Ziel verfolgt, den Menschen an und mit Energiesystemen zu "beschäftigen", obwohl arbeitskräftesparende Energiesysteme verfügbar sind. Die Folge wäre, daß nicht nur mehr Arbeitskräfte bei niedrigerem Lohnniveau eingesetzt werden müßten, sondern darüber hinaus zusätzliches Kapital (Subventionen) notwendig würde, um die kapitalintensiveren und unwirtschaftlicheren dezentralen Systeme zu finanzieren.

5.5 Flexibilität

Wird vorausgesetzt, daß ein Energieangebot sich den wechselnden Bedürfnissen (Energiedienstleistungen) einer Gesellschaft anzupassen hat, so stellt sich die Frage, welche Anpassungsfähigkeit ein Energieangebot besitzt. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen der Flexibilität nach oben (steigender Energiebedarf) und nach unten (sinkender Energiebedarf). Setzen wir steigenden Energiebedarf voraus, so führt eine mangelnde Angebotsanpassung zu Energiepreissteigerungen oder aber zu einer Verteilung des Mangels mit Hilfe staatlicher Lenkungsinstrumente. Letztlich führt ein Unterangebot (unter der Annahme, daß schon alle Einsparpotentiale genutzt sind) zu Wachstumsverlusten und damit zu volkswirtschaftlichen Kosten. Im umgekehrten Fall führt ein Überangebot zu Leerkapazitäten und damit zu Leerkosten. Sind die Leerkapazitäten betriebswirtschaftlich (kalkulatorisch) abgeschrieben, so sind sowohl die betriebswirtschaftlichen, als auch die volkswirtschaftlichen Kosten gleich Null. Bei Teilabschreibungen bleiben die betriebswirtschaftlichen Kosten in Höhe der Restabschreibung bestehen.

Um eine Vorstellung von der Größenordnung dieser Kostenunterschiede zu erhalten, gilt folgende Vergleichsrechnung: Nehmen wir einmal an, durch mangelnde Flexibilität des Energieangebots nach oben reduziere sich die Wachstumsrate des Bruttosozialprodukts um einen Prozent-Punkt. Hierdurch ergäben sich Wachstumseinbußen, d.h. eine langsamere Steigerung des Volkseinkommens, in Höhe von 14 Mrd DM (1 % von 1394 Mrd DM Bruttosozialprodukt im Jahre 1979 in Preisen von 1979). Auf der anderen Seite entspräche ein um einen Prozent-Punkt zu hoch geschätztes Bruttosozialprodukt einer erhöhten möglichen Stromproduktion von ca. 2,5 TWh/a, entsprechend 1 % der Elektrizitätsnachfrage der Industrie und Kleinverbraucher im Jahre 1978. Würde zur Erzeugung dieses Stroms eine Steinkohlekraftwerksleistung von 650 MW_e bereitgestellt, so führte dieses Überangebot an Kraftwerksleistung zu einem Investitionsaufwand von rd. 1 Mrd. DM [63], wenn in den zukünftigen Jahren dieses Überangebot nicht abgebaut werden könnte. Bei einer späteren Nutzung der Investition würden die Investitionskosten des temporären Überangebots entsprechend sinken.

Das Zahlenbeispiel verdeutlicht, daß mangelnde Flexibilität nach oben, wie dies bei allen "sanften Energien" der Fall ist (s. Kap. 3.3), zu wesentlich höheren Kosten führt (hier 14 Mrd DM) als eine mangelnde Flexibilität nach unten (hier 1 Mrd DM).

6. Sozioökonomische und sozialpsychologische Aspekte des sanften Technologie- und Gesellschaftsentwurfes

6.1 Sanfte Technik: Anspruch und Wirklichkeit

6.1.1 Von der alternativen Technik zur alternativen Gesellschaft

Eine Welt, die von dezentralen, einfach zu durchschauenden und funktionsautonomen Technologien geprägt sein wird, verändert auch ihr soziales und gesellschaftliches Gesicht. Die Abkehr von der Großtechnik und der sie umgebenden Organisationsstruktur bedingt eine neue Sichtweise von Mensch, Wirtschaft und Gesellschaft. Die Umpolung des technischen Fortschritts auf einfache und selbst steuerbare Instrumente erfüllt die ihr zugeordnete Funktion nur dann, wenn damit gleichzeitig eine Verschiebung der dominanten Werte in unserer Gesellschaft, eine Neuausrichtung der wirtschaftlichen Rationalität und eine Veränderung des Lebensstils einhergeht. Plakativ ausgedrückt: Sanfte Technik ist nur Bestandteil einer sanften,

alternativen Gesellschaft, in der nicht mehr Wachstum, Dynamik, Expansion und wirtschaftliche Leistung als erstrebenswerte Ziele gelten, sondern Konservierung, Ökologie, Naturbezogenheit und Selbstverwirklichung in der Arbeit [64].

- Wie kann eine nach diesen Prinzipien gestaltete Welt aussehen?
- Welche Konsequenzen ergeben sich aus der Verwirklichung dieser Utopie?

Um diese beiden Fragen zu beantworten, ist eine Beschäftigung mit den soziopolitischen Hintergründen der Forderung nach sanften und angepaßten Technologien unerlässlich. Die technische Machbarkeit und ökonomische Rentabilität sind zweifelsfrei wichtige Kriterien zur Beurteilung der alternativen Technik. Dennoch gehen sie an dem Grundgedanken der neuen Bewegung vorbei, nämlich die gesellschaftliche Bedürfnislage zum Ausgangspunkt der Überlegungen zu machen und anhand der alternativen Werte und Ziele neue soziale Gütekriterien für die Beurteilung von Technik und gesellschaftlichen Institutionen zu schaffen. Nicht die Frage, ob sanfte Technik die traditionellen wirtschaftlichen Zielvorstellungen besser erfüllt als die Großtechnik, bestimmt die Argumentationsrichtung der alternativen Theoretiker, sondern die Frage, ob die herkömmlichen Kriterien in einer vom Überfluß an Konsumgüter gekennzeichneten Gesellschaft überhaupt noch gültige Indikatoren für eine lebenswerte Zukunft abgeben können. Die Forderung nach sanfter Technik ist eng verzahnt mit der Kritik am Industriesystem und seinen immanenten Regulativen [65].

Der Wunsch nach sanften Technologien spiegelt somit die Hoffnung auf eine gerechtere und freiere Gesellschaft und die Sehnsucht nach größerer Selbstbestimmung, Selbstverwirklichung und persönlicher Sinnfindung wider. Trotz der gesellschaftlichen Resonanz dieser neuen Theorie und ihrer sozialen Sprengkraft läßt sich heute noch kein konsistentes Bild einer sanften Gesellschaft zeichnen, mit dessen Hilfe man die hochgesteckten Ziele und die dazu entwickelten technischen und sozialen Mittel kritisch analysieren könnte. Greift man einzelne Punkte aus dem umfangreichen Katalog der geforderten Veränderungen heraus, so setzt man sich immer wieder dem Vorwurf aus, über die kleinliche Behandlung von Details die große Linie und die zentralen Anliegen der Alternativbewegung außer Acht zu lassen. Wenn auch dieser Vorwurf bei manch voreiliger Kritik an sanfter Technik und alternativem Lebensstil berechtigt sein mag, darf nicht übersehen werden, daß die weitgehende Offenheit der Utopie in Verbindung mit der Propagierung von allgemein anerkannten positiven Werten ein künstliches Immunsystem schafft. Jeder kritische Einwand kann einfach durch den Hinweis hinweggefegt werden, daß nur periphere Punkte behandelt worden oder die Intentionen der Utopie nicht erfaßt bzw. nicht in der genügenden Tiefe durchdacht worden seien.

Eine ganzheitliche Betrachtung von alternativer Technik in einer alternativen Welt läuft auf der anderen Seite Gefahr, über Gemeinplätze, Schlagworte und die Rationalisierung eigener Weltanschauung nicht hinaus zu kommen. So komplex ist die soziale Wirklichkeit, daß eine Verflachung der Argumentationsebene unumgänglich wäre, diskutierte man nur auf der Makroebene. Gerade weil der Bezugspunkt der Auseinandersetzung von den eng umrissenen Kriterien der Effizienz und Ökonomie zu den breit interpretierbaren neuen Werten der sozialen Verträglichkeit und der natürlichen und menschlichen Angepaßtheit gewechselt hat, bedarf es im analytischen Instrumentarium einer besonderen Präzision und Systematik, um sich nicht in schöngestigen Ergüssen zu verlieren.

Für eine rationale Bestandsaufnahme der alternativen Gesellschaftstheorie ist es daher unerlässlich, sich von Sprache und Denken der Sehnsucht nach einer heilen Welt zu trennen und wie ein Wesen vom fremden Stern in Distanz zum Untersuchungsobjekt die jeweiligen Eigenschaften zu analysieren. Zu einer solch nüchternen Betrachtungsweise gehört eine klare

Aufgliederung der Gedankenführung alternativer Theoretiker in einzelne, konkret faßbare Argumente und ihre kritische Hinterfragung. Deshalb sollen im folgenden schrittweise die relevanten Argumente der alternativen Gesellschaftstheoretiker behandelt und auf ihre Stichhaltigkeit hin untersucht werden.

6.1.2 Die Kritik an der konventionellen Technik

Eine zentrale These der alternativen Utopie berührt die Frage der Technik. Denn mit der Technik verbinden viele Theoretiker nicht nur instrumentale Aspekte, sondern auch ihre Auswirkungen auf soziale Strukturen und politische Entwicklungen. Im Gegensatz zu den heutigen Formen der Großtechnik, die sie als Symbole und Mittel zur Ausbeutung, Naturzerstörung und Fremdbestimmung verstehen, entwerfen sie ein Bild einer dezentralen, überschaubaren, risikoarmen und Befriedigung verschaffenden Technostruktur, die ihren adäquaten Platz in einer ökologisch ausgerichteten Gesellschaft findet [66]. Eine Abgrenzung von sanfter Technik wurde bereits zu Anfang gegeben, dennoch erscheint es an dieser Stelle wichtig, noch einmal auf ein wesentliches Kriterium der Definitionsversuche einzugehen.

Karl Werner Kieffer, Vorsitzender des Kuratoriums Stiftung Mittlere Technologie, unterscheidet in einem Aufsatz über verschiedene Definitionsversuche zwei grundsätzliche Auffassungen zur weichen Technologie:

"Die eine - enge - sieht in ihr nur eine besondere Technik, die es im Rahmen der gegebenen Strukturen zu entwickeln gilt, weil die Situation dies heute - aus langfristigen, aber eben doch ökonomischen Gründen - erzwingt.

Die zweite - weite - Auffassung geht von anderen Wertvorstellungen aus und setzt an die Stelle eines 'ökonomistischen' ein 'partnerschaftlich-ökologisches' Weltbild" [67].

Für den alternativen Lebensstil ist nur die zweite, weite Auslegung von Bedeutung. Denn es geht nicht um die Optimierung bestehender Produktionsstrukturen, sondern um eine Umschaltung unserer Gesellschaft auf neue, postmaterielle Ziele und Werte. Werner Edelmann und Stephan Baer haben einige charakteristische Eigenschaften einer sanften Technik in einer alternativen Welt zusammengefaßt und verschiedenen Synonymen von "sanft" zugeordnet. Hier ein kurzer, zusammengefaßter Abriß:

Sanfte Technik: ökologisch angepaßt, naturschonend

Mittlere Technik: Mittelmaß zwischen kapital- und energieaufwendigen Verfahren und arbeitsaufwendigen Methoden

Angepaßte Technik: Entfremdung von der Arbeit aufgehoben, psychische Belastung verringert

Kleintechnik: überschaubar, nachvollziehbar, von jedem handhabbar [68].

Dieser kurze Abriss verdeutlicht den Stellenwert der sanften Technik in einer alternativen Gesellschaft. Sie soll uns von der Stumpfsinnigkeit monotoner Industriearbeit befreien, die Entfremdung von Arbeit und Arbeitsprodukt auflösen, den natürlichen Regelkreislauf nicht belasten und die Umwelt nicht beeinträchtigen. Nur so finde jeder Mensch sein Recht auf Glück in der Selbstbestimmung, Geborgenheit und sozialer Wärme [69]. Für wahr ein Katalog, den wohl jeder unterschreiben würde! Die Frage aber bleibt bestehen, ob diese sehr erstrebenswerten Ziele wirklich von dem Einsatz sanfter Technologien abhängen und ob die harten Technologien tatsächlich all das zerstören, was an Humanität und demokratischer Substanz in unserer Gesellschaft vorhanden ist. Eine Liste aller wichtigen sozio-ökonomischen Argumente gegen die harte und für die weiche Technologie soll dem Ziel dienen, Punkt für Punkt Vorwurf, Anspruch und Wirklichkeit miteinander zu vergleichen:

1. Harte Techniken erhöhen das Risiko für Mensch und Natur und setzen die Gesellschaft der Gefahr von großen Katastrophen aus. Weiche Techniken sind dagegen risikoarm und ungefährlich.
2. Harte Techniken sind ökologisch unangepaßt und verschmutzen die Umwelt. Weiche Techniken passen sich dagegen dem natürlichen Regelkreislauf an und minimieren die Menge schädlicher Nebenwirkungen.
3. Harte Techniken sind verwundbarer als weiche. Sie erfordern eine starke Überwachung aller Anlagen und der dort tätigen Betriebsangehörigen und müssen gegen Terroristen oder Saboteure abgesichert werden. Dadurch wird der Staat gezwungen, Freiheitsrechte und Entfaltungsmöglichkeiten seiner Bürger einzuschränken (Atomstaat). Im Kriegsfall sind harte Technologie-Anlagen ideale Angriffsziele, weil auf diese Weise mit einfachen Mitteln die Versorgung der Bevölkerung unterbrochen werden kann. Dezentraler Einsatz von Technik erhöht die Versorgungssicherheit, verringert die Verwundbarkeit und zwingt den Staat nicht zu freiheitsbeschränkenden Maßnahmen.
4. Harte Techniken führen zur Entfremdung von Mensch und Arbeitsprodukt. Sie implizieren monotone Beschäftigungsabläufe und sinnentleerte Handlungen. Sie machen jedes handwerkliche Geschick zunichte. Sanfte Techniken unterstützen dagegen die manuellen Tätigkeiten des Menschen und tragen zur Arbeitsbefriedigung bei.
5. Harte Techniken sind undurchschaubar und unverständlich. Der Mensch entfremdet sich von seiner physischen Umwelt und findet sich im Reich der Technogiganten nicht mehr zurecht. Er flüchtet sich in Apathie oder Auflehnung. Sanfte Techniken sind dagegen einfach zu durchschauen und von jedermann zu handhaben. Sie machen die Technik wieder zu einem Werkzeug des Menschen.
6. Die Großtechniken haben inzwischen eine eigene Rationalität entwickelt, die immer weiter vom ursprünglichen Zweck wegführt und in einer Eigendynamik neue Sachzwänge schafft, die in keinem Verhältnis mehr zu den ursprünglichen Nutzenerfahrungen stehen. Kleintechniken können dagegen jederzeit flexibel eingesetzt, und mögliche Fehlentwicklungen ohne Schwierigkeiten ausgesetzt oder eingestellt werden.
7. Harte Techniken sind ein Spiegelbild der bestehenden Herrschaftsverhältnisse in einer Gesellschaft. Sie stärken die Macht von Monopolindustrien und verfestigen bestehende Abhängigkeiten. Sanfte Techniken tragen dagegen dazu bei, die Emanzipation der Unterprivilegierten voranzutreiben.
8. Harte Techniken sind mit dafür verantwortlich, daß der Konsum materieller Güter und ihre Expansion zu einem Kennzeichen der Industriegesellschaft geworden ist. Die Sachzwänge der Technik erfordern eine immer größere Anzahl von Produkten, die auch über Sättigungsgrenzen hinweg mit Tricks und Manipulationen an den Verbraucher weitergeleitet werden. Gleichzeitig schafft die Produktion dieser Güter eine Verschlechterung der Umwelt - und damit der Lebensqualität. In zunehmendem Maße werden darüber hinaus Güter angeboten, die für nichts anderes gut sind, als die Schäden zu kompensieren, die durch die Produktion entstanden sind (sogenannte defensive Güter). Sanfte Techniken werden dagegen die echten Bedürfnisse der Menschen erfüllen helfen, ohne einen Überfluß an Unnutzern und eine Unterversorgung an Sinnvollem zu erzeugen [70].

Die Argumente für eine sanfte Technik sind mit dieser Liste keineswegs erschöpft. Wir sind allerdings der Überzeugung, daß damit die Substanz der alternativen Technokritik zutreffend wiedergegeben worden ist. Im folgenden soll jedes Argument auf seine Stichhaltigkeit hin untersucht werden.

6.1.3 Die Auseinandersetzung mit den Argumenten der sanften Technokritik

Überblickt man die Liste der acht Kritikpunkte, so stellt sich schon beim ersten Durchlesen der Zweifel ein, ob nicht die Rolle der Technik für unser Leben überbewertet wird - vielleicht als Gegenbewegung zur Technokratie-Strömung der 60er Jahre, wo viele dem Irrglauben anhängen, Prinzipien von Technik und Naturwissenschaft könne man als Modell für die Steuerung sozialer und politischer Prozesse verwenden. Nachdem diese Hoffnungen sich weitgehend zerschlagen und einer distanzierteren Betrachtungsweise der segensreichen Rolle der Technik in unserer Gesellschaft Platz gemacht hat, entdeckten die Nachfahren der verunsicherten Technologie-Verehrer einen neuen Silberstreifen am technischen Horizont: die sanfte Technik mit all ihren umwälzenden Konsequenzen. Was die Großtechnik nicht zuwege gebracht hat und auch nicht leisten konnte, nämlich Individuen, Gesellschaft und Umwelt zu harmonisieren, soll nun die Gegentechnik leisten: Dezentraler Einsatz, regenerative Energieerzeugung, überschaubare Funktionsweise, do it yourself, autonome Selbstversorgung und kooperative Arbeitsorganisation sind die Schlüsselworte zu einer neuen Befreiung des Menschen aus den Sachzwängen der Großtechnik und der durch sie symbolisierten Industriegesellschaft.

Aber auch die sanfte Technik bleibt eine Technik: Der Glaube an ihre soziale Heilswirkung entspringt der gleichen Denkungsart wie die aufgegebene Hoffnung an die Technokratie. Nicht von ungefähr sind viele Vertreter der sanften Technik enttäuschte Ingenieure und Techniker (etwa Traube, Lovins und Ullrich). Sie haben das Vorzeichen ihres Denkens radikal verändert, aber den geistigen Horizont ihres Lebensumfeldes nicht verlassen. Was ihnen vorschwebt, ist eine Gesellschaft von Kleinhandwerkern, die mit einfachen Instrumenten ihre manuellen Fertigkeiten in direkte Lebensbewältigung umsetzen. Ein Volk besteht aber nicht nur aus Millionen von Möchte-Gern-Ingenieuren. Es ist gerade der Sinn der Arbeitsteilung, eine Berufsvielfalt zu schaffen, die es jedem ermöglicht, eine Tätigkeit nach seinen Neigungen und Fertigkeiten zu übernehmen. Die berechtigte Kritik an der Monotonie industrieller Arbeitsabläufe darf nicht zu Lösungsvorschlägen führen, die die eigene Bedürfnislage verabsolutieren und die eigenen Fertigkeiten zum Maßstab gesellschaftlicher Arbeitsteilung machen. Wer das Bild des "homo oeconomicus" oder des "homo consumens" zu Recht als eine Einengung menschlicher Vielfalt begreift, sollte nicht dem anderen Extrem verfallen und den Menschen in das Klischee des "homo faber" pressen. Nicht jeder Mensch wird es als eine Bereicherung seines Glücks ansehen, wenn er im eigenen Garten "biologisches" Gemüse anbaut und seine Energie mit Kollektoren und Biogasanlage selbst herstellen "darf".

Nach dieser allgemeinen Vorbemerkung über den Stellenwert der Technokritik soll im weiteren die konkrete Auseinandersetzung mit den oben angeführten Argumenten erfolgen.

Technik und Risiko

Wie ein Naturgesetz beschreiben viele Autoren ihre Behauptung, daß mit der Umkehr zur sanften Technik das Lebensrisiko des Menschen abnehme. Meist fehlt eine Begründung für diese These, weil dies angeblich offensichtlich sei [71]. Um den Zusammenhang zwischen Risiko und Art der eingesetzten Technik empirisch zu prüfen, ist eine Dimensionsaufteilung der sanften Alternative notwendig. Zunächst soll die Frage der Dezentralisierung versus Zentralisierung und zum zweiten das Problem der regenerativen versus nichtregenerativen Technologien behandelt werden.

Hält man also zunächst die Qualität der Technik konstant und variiert nur den Zentralisierungsgrad, so gibt es bis heute nur Anzeichen dafür, daß mit dem Ansteigen des Zentralisierungs-

grades die Risikohöhe abnimmt. Bestes Beispiel dafür ist der Verkehr: Motorisierte Massenverkehrsmittel wie Bahn, Bus oder Flugzeug fordern pro Fahrgastkilometer weniger als ein Zehntel der Opfer des Automobilverkehrs [72]. Ebenfalls kann als erwiesen gelten, daß große Kohlekraftwerke pro erzeugte Kilowattstunde ein geringeres Gesundheitsrisiko mit sich bringen als mehrere kleine. Diese Tatsache ist auch theoretisch zu erwarten, denn:

- je zentraler die Anlagen, desto eher sind aufwendige Sicherheitseinrichtungen finanzierbar;
- je zentraler die Anlagen, desto eher können bevölkerungsarme Gebiete als Standorte dienen;
- je zentraler die Anlagen, desto besser und effektiver können sie von den Behörden kontrolliert und überwacht werden;
- je zentraler die Anlagen, desto eher kann qualifiziertes Personal eingestellt und um so besser können mögliche Störfälle beherrscht werden.

Der Eindruck, daß bei Großtechniken die Verlustrate und das Risiko höher seien, rührt aus der Tatsache her, daß sich kleinere Unfälle viel seltener im Bewußtsein und in der öffentlichen Meinung verfestigen als wenige große [73]. Natürlich ist es ein Unterschied, ob bei einer plötzlichen Katastrophe Tausende von Menschen ihr Leben verlieren und möglicherweise ganze Landstriche auf Jahre unbewohnbar bleiben oder ob bei einer kontinuierlich wirkenden Risikoquelle über längere Zeiträume die gleiche Anzahl Personen sterben. So mag man das eine Risiko höher bewerten als das andere; das ändert aber nichts an der Tatsache, daß die Höhe des Risikos mit der Zentralisierung der Technik abnimmt, im schlechtesten Fall konstant bleibt.

Geht man zum zweiten Kriterium über, der Regenerationsfähigkeit der Systeme, so läßt sich auch hier eine eindeutige Überlegenheit sanfter Techniken in bezug auf das Risiko nicht feststellen. Die Höhe des Risikos verschiedener Energiesysteme, etwa Sonnenenergie versus Öl, ist zum heutigen Zeitpunkt umstritten. Auf der einen Seite hat der sog. Inhaber-Report Risiken bei der Herstellung von Energieerzeugungsanlagen analysiert und dabei eine bessere Risikobilanz nichtregenerativer Quellen herausgearbeitet, auf der anderen Seite kommen Holdren u.a. bei der gleichen methodischen Vorgehensweise zum umgekehrten Schluß [74].

Als Fazit bleibt festzuhalten: Betrachtet man nur die Höhe des Risikos, so sind zentrale Anlagen in der Regel weniger risikoreich als dezentrale Anlagen mit insgesamt gleicher Leistung. Ungeklärt ist noch die Frage, ob regenerative Energiequellen eine geringere Risikoübernahme erfordern als nicht regenerative Quellen.

Technik und Umweltbelastung

Analoges gilt für die Umweltverschmutzung. Moderne, zentrale Technologien haben den Ausstoß an Schadstoffen relativ zur Menge der Produktion seit Jahren kontinuierlich verringert [75]. Auch hier ein Beispiel aus der Energieversorgung: Kohlefeuerung im Haushalt oder die neuerdings propagierten Energieboxen, die gleichzeitig Wärme und Strom in jedem Haushalt erzeugen, sind von ihrer Umweltbilanz her negativer zu beurteilen als Fernwärmenetze oder Großkraftwerke. Denn bei vielen kleinen Anlagen lassen sich aufwendige Rückhaltevorrückungen nicht finanzieren und ihr verbrauchernahe Einsatz führt zu einer Luftverseuchung an der Stelle, wo Menschen direkt wohnen und sich aufhalten. Im übrigen läßt sich eine ständige Kontrolle und Überwachung von technischen Anlagen bei einer durchgezogenen Dezentralisierung nicht mehr mit vertretbarem Aufwand durchführen.

Die ständige Steigerung des materiellen Güterkonsums hat zwar die Gesundheitsrisiken und die Naturbelastung verstärkt, gleichzeitig aber auch wirkungsvolle Mittel gegen natürliche

und soziale Risiken bereitgestellt. Der Fehler der sanften Technologie-Vertreter besteht darin, die Umwelt- und Risikoqualität einer Technik an dem Grad ihrer Zentralisierung und Funktionsautonomie (etwa erneuerbare Energiequellen) zu messen. Während das erste Kriterium überhaupt nicht überzeugen kann, verabsolutiert das zweite Kriterium eine Beobachtung, die möglicherweise nur in Teilbereichen der Energieversorgung gilt. Strategien zur Risikominimierung und zum Umweltschutz müssen sich entweder an der Nachfrageseite (weniger Produktion) oder am Stand der jeweils möglichen Technik orientieren. Ob groß oder klein, zentral oder dezentral, regenerativ oder nicht regenerativ - diese Streitfragen können zum Komplex Risiko und Umweltbelastung kaum aussagefähige Kriterien bieten.

Technik und soziale Verwundbarkeit

Die Verwundbarkeit zentraler Anlagen ist in der Regel größer als die dezentraler Einrichtungen [76]. Was aber Terrorismus und Sabotage anbetrifft, so werden die Gefahren und Risiken von alternativen Theoretikern gern übertrieben. Je zentraler technische Anlagen sind, desto mehr sind sie bereits aus Schutz vor technischen Störfällen gegen äußere Einwirkungen abgesichert, desto mehr Fachwissen erfordert ihre willkürliche Zerstörung oder Ausschaltung, desto zeit- und mittelaufwendiger ist die Durchführung des Anschlages, desto eher lassen sich spezifische Sicherheitsvorkehrungen finanzieren und desto höher ist das Eigenrisiko für Terroristen und Saboteure [77]. Nicht zuletzt muß man bezweifeln, ob selbst die irrationalsten Terroristen die Freisetzung eines riesigen Gefahrenpotentials ideologisch vor ihrer Subkultur rechtfertigen können. Terroristen bevorzugen lokal begrenzte, in ihren Auswirkungen überschaubare und vom Eigenrisiko her kalkulierbare Aktionen.

Geht es beim Überfall lediglich um die Unterbrechung der Versorgung, so können Saboteure oder Terroristen in der Tat mit relativ einfachen Mitteln große Störungen verursachen. Wenn auch großtechnische Anlagen der Energiewirtschaft in Verbund geschaltet sind, also gegenseitig Störungen ausgleichen können, so verbleibt das Risiko einer Zerstörung der zentralen Verteilung. Hier sind zentrale Anlagen mit Sicherheit verwundbarer als dezentrale. Eigenproduktion und Vielfalt von dezentralisierten Verteilungseinheiten sind daher geeignete Mittel, volkswirtschaftlich relevante Störungen durch mutwillige Zerstörung gering zu halten. Dagegen steht jedoch der Vorteil zentraler Versorgungssysteme, durch Verbund und administrative Lenkung einen störungsfreien Ablauf der Versorgung in normalen Zeiten sicherzustellen und auch bei ungünstigen Verhältnissen (Wassermot durch geringen Regenfall, lokale Unterproduktion von Energiestoffen) Engpässe auszugleichen. Nicht zuletzt erfüllen zentrale Verteilungssysteme die strukturelle Funktion, allen Bürgern in einem Lande die gleichen Chancen einer ausreichenden Versorgung zukommen zu lassen, selbst wenn einige in Gebieten wohnen, in denen aus Mangel an Rohstoffen oder aus klimatischen Gründen kein ausreichendes Angebot zur Verfügung steht. Letztlich ist es eine politische Frage, ob man diese Vorteile zugunsten einer erhöhten Sicherung gegen Terroristen aufgeben will.

Die Kritiker der harten Technik gehen noch einen Schritt weiter. Nicht die Gefahr durch Terroristen und Saboteure sei das größte Problem bei den zentralen Anlagen, sondern die daraus resultierende Reaktion des Staates. Aus Furcht vor möglichen Sabotageakten sei der Staat gezwungen, ein immer dichteres Überwachungsnetz über die Bürger zu stülpen und laufend Freiheitsrechte einzuschränken [78]. Wie realistisch ist die Annahme einer solchen Entwicklung zum Atomstaat?

Selbst wenn die Überwachungsmaßnahmen ebenso strikt durchgeführt würden wie im militärischen Sektor - was unseres Erachtens über das notwendige Maß hinausginge - so wäre davon nur ein Bruchteil der Bevölkerung betroffen, nämlich die-

jenigen, die freiwillig ihre Beschäftigung in einer sensitiven Anlage versehen. Warum dann gleich das ganze Volk bespitzelt werden soll, ist unklar. Die Argumentation, man würde damit ein Schneeballsystem auslösen, bei dem die Überwachung immer weitere Kreise ziehe, wird bereits von der Wirklichkeit in den Bereich der Spekulation verwiesen. Trotz der mehr als 15fachen Anzahl von überwachten Personen im Militär- und Bürokratiebereich gegenüber dem Personal von 100 Atomkraftwerken, kann die Bundesrepublik Deutschland bis heute als freiheitliche Demokratie bestehen [79]. Die Überwachung kleinerer Personenkreise, die sich dieser Kontrolle freiwillig unterwerfen, führt zu keinem negativem Effekt auf den Grad gesellschaftlich ermöglichter Freiheit, solange diese Maßnahme im Rahmen der verfassungsmäßigen Ordnung und der Erfüllung der angestrebten Schutzfunktion bleibt. Die Diskussion um echte oder vermutliche Übergriffe des Staates hat sich ja gerade daran entzündet, daß diese beiden Voraussetzungen verletzt wurden. Dafür dürfen aber nicht die zentralen Techniken als Sündenböcke, sondern die jeweils agierenden Institutionen verantwortlich gemacht werden. Um es knapp zu sagen: Für den legitimen Schutz der Bevölkerung vor Sabotage und Terror gibt es genügend technische und institutionelle Mittel, die weder den freiheitlichen Rechtsstaat noch die offene Gesellschaft gefährden. Eine Gefahr für die Freiheit ergibt sich nur dann, wenn Politiker technische Anlagen als Alibi benutzen, um eigene ordnungspolitische Vorstellungen durchzusetzen.

Verbleibt das Risiko des Krieges. Ohne Zweifel sind zentrale Anlagen ideale Angriffsziele für den Kriegsfall. Die Versorgung kann selbst bei Verbundbetrieb nachhaltig gestört oder sogar lahmgelegt, und das in den Anlagen schlummernde Gefahrenpotential als eigene Waffe mißbraucht werden [80]. Doch unsere möglichen Gegner geben sich die gleiche Blöße: Ihre Verwundbarkeit ist nicht geringer als die unserige. Daran könnte man sogar die Hoffnung knüpfen, daß die Erhaltung des Friedens aufgrund des Gleichgewichts der Rüstungspotentiale durch ein neues Gleichgewicht der gegenseitigen Verwundbarkeit abgelöst werden könnte. Wenn jeder Sieg zum Pyrrhussieg wird und jede gewonnene Schlacht einen Beitrag zum Selbstmord darstellt, dann wird die Agression als Mittel der Politik zu einem Bumerang, der stets mehr Verluste als mögliche Gewinne einbringt. Diese Überlegungen sind eher eine Hoffnung als eine Tatsache. Dennoch erscheint ein Technisierungsprozeß, der den Frieden zur Voraussetzung macht, sympathischer als eine Technostruktur, die sich von vornherein für den Kriegsfall wappnet, zumal wenn diese Technostruktur so aufwendig wird, daß die materiellen Voraussetzungen für eine friedliche Koexistenz nicht mehr gewährleistet werden können. Es ist nicht auszuschließen, daß gerade eine solche Vorwegnahme der Kriegsgefahr eine eigene Sachgesetzlichkeit nach sich zieht, die den Kriegseintritt wieder wahrscheinlich macht. Auf Entwicklungsländer läßt sich diese Überlegung nur bedingt übertragen. Hier fehlt das Gleichgewicht an Verwundbarkeit, und die Chancen zum Mißbrauch sind größer. Dennoch ist ein vorsichtiger Technologietransfer mit entsprechenden Absicherungen sinnvoller und erfolgversprechender als eine rüde Vorenthaltung durch die Industrieländer.

Trotz der Relativierungen und Einschränkungen bleibt die Grundtatsache bestehen, daß zentrale Technologien gegen lokale Konflikte und internationale Störungen, wie Erpressung oder Krieg, anfälliger sind als dezentrale Anlagen. Dezentrale Energiesysteme auf der Basis regenerativer Energieflüsse sind also weniger durch anthropogene Störungen verwundbar. Dafür begibt man sich aber durch ihren Einsatz in die Abhängigkeit von den Unwägbarkeiten der Natur.

Beispiele: Ein Sommer mit unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer und -intensität, auf den ein extrem kalter Winter folgt, oder Naturkatastrophen, die die Ernte an Biomasse zerstören. Hier zeigt sich ein existenzieller Unterschied zwischen den Energiesystemen. Bei den regenerativen, dezentralen Sy-

stemen führt der Weg in eine unbeeinflussbare, zwangsläufige Abhängigkeit. Zentrale Energiesysteme hingegen führen zu einem naturunabhängigen Freiheitspielraum, den der Mensch selbst gestalten kann. Hier sind sein Lernvermögen und sein Sozialverhalten für die Verwundbarkeit verantwortlich. Letztlich bestimmt der Mensch selbst seine Chancen und Risiken.

Technik und Entfremdung

Die Entfremdung des Menschen von seiner Arbeit ist nicht auf die Technisierung des Arbeitsplatzes zurückzuführen. Vielmehr ist sie eine negative Begleiterscheinung der ökonomischen Spezialisierung und Differenzierung [81]. Ein Fließbandsystem läßt sich auch mit primitivsten Werkzeugen verwirklichen und benötigt keinen aufwendigen Maschinenpark. Arbeitsteilung, Monotonie und Stumpsinnigkeit kennzeichneten bereits Malerwerkstätten des 14. und 15. Jahrhunderts (beispielsweise in Antwerpen). Entfremdung entsteht als Folge der Abkopplung von Produkterstellung und Arbeitstätigkeit [82]. Die Teilung von Arbeitsprozessen in viele Arbeitsbereiche und die Differenzierung in viele Tätigkeiten und Berufe haben zwar das Band zwischen Produkt und Arbeit zerstört, aber erst die erstaunlichen Produktionsleistungen des Industriesystems und die Überwindung von Not und Elend der vorindustriellen Zeit (die im Gegensatz zu der idealisierenden Darstellung mancher alternativer Theoretiker das Leben des Mittelalters bestimmt haben) ermöglicht. Nicht zuletzt hat dieser Differenzierungs-Prozeß die Rahmenbedingungen dafür geschaffen, daß ein sozialer Aufstieg auch für die unterprivilegierte Masse zu verwirklichen war (wenn auch in Grenzen), daß Menschen ihren Neigungen und Fähigkeiten entsprechende Arbeitsmöglichkeiten fanden und daß sich der individuelle Freiheitspielraum aufgrund der Vielzahl von Lebens- und Berufsalternativen verbreitern konnte [82]. Entfremdung ist also die Kehrseite eines Entwicklungsprozesses, dessen Errungenschaften wir alle schätzen.

Daß heißt nicht, man müsse sich mit der Entfremdung abfinden. Als Ersatz für die fehlende Motivation und Freude durch ein hergestelltes Produkt erscheint eine Motivation und Beglückung durch den Arbeitsprozeß wünschenswert und realisierbar. Diese neue Form der Arbeitsbestätigung setzt aber gerade eine weitgehende Technisierung des Arbeitsplatzes voraus. Im übrigen soll man bei aller berechtigten Kritik am Arbeitsleben nicht übersehen, daß die Arbeiter im kapitalistischen Industriesystem weitgehend mit ihrer Tätigkeit zufrieden sind [84].

Technik und ihre Undurchschaubarkeit

Zusammen mit dem Vorwurf der Entfremdung wird der Großtechnik gerne ihre Undurchschaubarkeit vorgeworfen. Ihre komplexe Struktur und die notwendige Mammutorganisation zu ihrer Handhabung und Wartung entfremde den Menschen von seiner Umwelt und lasse ihn vereinsamt in einer ihm fremden Welt zurück [85]. So sehr dieses Argument intuitiv überzeugend klingt, so wenig gibt es Auskunft über das wirkliche Verhältnis von Technik und Mensch. Die meisten Menschen stören sich nämlich nicht an ihrem mangelnden Verständnis für die Funktionsweise einer technischen Anlage, solange sie sicher sind, daß sie oder andere die jeweilige Technologie im Griff haben, sie also beherrschen können. Die Begegnung mit der Technik ruft erst dann Angst hervor, wenn das Gefühl aufkommt, die Auswirkungen und Risiken seien nicht mehr unter Kontrolle [86]. Die hauseigene, hochkomplexe HiFi-Anlage wird uneingeschränkt genossen und sogar bestaunt, weil der Besitzer sie jederzeit nach Belieben steuern kann. Das technisch simple und von der Funktion her leicht durchschaubare Zwischenlager für radioaktive Brennelemente löst dagegen bei vielen Menschen Angst und Widerstand aus, weil ihnen auch bei völliger Einsicht in die Funktionsweise der Glaube an die jederzeitige Beherrschbarkeit möglicher Störfälle fehlt.

Für eine Technologie-Bewertung ist es durchaus sinnvoll, die Beherrschbarkeit von Techniken und die Kontrollmöglichkeit als Kriterium ihrer Abschätzung einzubeziehen. Unsinnig wäre es jedoch, eine Verbindung zwischen Überschaubarkeit, Zentralisierungsgrad und Kontrollmöglichkeit zu ziehen. Alle diese Größen sind in der Regel unabhängig voneinander. Zu den intuitiven Vorstellungen des Menschen gehört der falsche Schluß, mit dem Grad der Komplexität sinke die Möglichkeit der Beherrschung technischer Anlagen. Deshalb erwachsen öfter Angstgefühle aus komplizierten als aus einfachen Anlagen, denen man die Beherrschbarkeit eher zutraut. In der Realität trifft dieser Zusammenhang höchst selten zu. Häufig bedingen sich Komplexität und Beherrschbarkeit gegenseitig, weil erst eine aufwendige Steuerung, etwa bei einer elektronischen Waschmaschine, die jederzeitige Kontrolle über die Technik garantiert. Dies gilt für große Techniken genauso wie für kleine.

Technik, Zweckrationalität und Sachzwänge

Eng verbunden mit der Furcht vor den unkontrollierbaren Konsequenzen einer einmal in Gang gesetzten Technologie ist die Sorge um die Verselbständigung und Eigenrationalität der Großtechnik [87]. Ist eine bestimmte Technik erst verwirklicht worden, dann ergäben sich so viele Sachzwänge, daß die Freiheit des Handelns des Menschen verloren ginge. Als Musterbeispiel dafür dient das Problem des radioaktiven Abfalls, der künftigen Generationen die Last aufbürdet, mit der Kehrseite unseres Energiehungers und Konsumstrebens fertig zu werden.

Diese Argumentationsführung verkennt die Tatsache, daß jeder Eingriff des Menschen zu Folgen führt, die eine neue Ausgangslage für künftige Generationen darstellen. Jede Technik und jede Form von menschlicher Arbeit (außer im Stadium der Jäger und Beerensammler) verändert ein Stück Natur, bildet einen Mosaikstein in dem Bau einer künstlichen Welt und schafft wiederum Zwänge, die sich aus der Natur des Eingriffes ergeben [88]. Dies wird mit der sanften Technik nicht anders sein als mit der harten. Die Debatte um Kernenergie hat diesen Prozeß stärker ins Bewußtsein der Öffentlichkeit gerückt, dabei jedoch den universellen Charakter der Sachzwangthese als Ergebnis menschlicher Arbeit und Lebensgestaltung überdeckt. Auch der Sonnenkollektor schafft Sachzwänge: Seine Nutzung erfordert eine bestimmte Produktionsstruktur, eine bestimmte Anzahl und Struktur von Berufen, eine Form des Vertriebes und der Wartung, bestimmte Siedlungsstrukturen und Häusertypen usw. Durch eine neue Nachfragesituation in der sanften Gesellschaft wird sich die Berufsstruktur verändern, strukturelle Arbeitslosigkeit die Folge sein und soziale Anpassungsprobleme auftauchen. Sonnenkollektoren verbrauchen pro erzeugte Kilowattstunde sehr viele Roh- und Betriebsstoffe, die möglicherweise der kommenden Generation fehlen werden. Die Pflege der Kollektoren verringert die Freizeit seines Besitzers und engt die Wahlmöglichkeiten seiner Freizeitgestaltung ein [89].

Es soll keineswegs so getan werden, als ob jede Technik in gleichem Maße die Auswahl der zukünftigen Möglichkeiten einengen würde. Aber auch hier sind die Kriterien groß-klein, hart-sanft oder regenerativ-nichtregenerativ keine verlässlichen Anzeichen für die Größe der damit verbundenen Sachzwänge. Analog zu den Ausführungen über Risiko und Umweltbelastung dürften fühlbare Zwänge für den Menschen, insbesondere naturbedingte Störungen, bei einer durchgehenden Dezentralisierung eher ansteigen.

Die Sachzwangthese hat nicht nur eine Negativseite: Viel wichtiger ist die positive Entgegnung zur Einengung der Freiheit durch Technik. Warum arbeiten Menschen überhaupt und setzen Techniken ein? Sie tauschen die Sachzwänge des natürlichen Lebens, die ihnen Umwelt, Klima, Landschaft und Physiognomie setzen, gegen neue Sachzwänge eines erfolgten Eingriffes ein, wobei sie hoffen, netto mehr Vorteile zu ge-

winnen als Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. In der natürlichen Umwelt können maximal 2 Menschen pro Quadratkilometer ihren Lebensunterhalt sichern, sie werden im Schnitt 25 bis 30 Jahre alt und sind durch viele Risiken, wie Krankheit, Klima, Raubtiere, Unfälle und Hungersnöte bedroht [90]. Dafür arbeiten sie weniger als der Freizeitmensch des 20. Jahrhunderts und leben relativ unbekümmert in den Tag hinein [91]. Ackerbau und sichere Behausung waren die ersten Eingriffe des Menschen, die eine höhere Fortpflanzungsrate ermöglichten und das Lebensrisiko herabsetzten. Gleichzeitig war damit eine festgelegtere Arbeitszeit, eine stärkere Abhängigkeit von Boden und Klima und die Möglichkeit größerer Katastrophen (bei Dürre) verbunden. Diese Ambivalenz des Fortschritts hat sich bis heute tausendfach fortgesetzt, wobei es immer wieder technische oder gestalterische Eingriffe gab, die sich im nachhinein als Bumerang erwiesen haben. Die Römer benutzten etwa mit Vorliebe Bleibecker, die zwar ihren Lebensstandard erhöhten, aber auch gleichzeitig das Vergiftungsrisiko heraufsetzten. Sowenig es in der Geschichte jemals einen technischen Sündenfall gegeben hat, von dem an die Nettorate des technischen Fortschritts in den Negativ-Bereich gelangte [92], sowenig lassen sich heute Rückschlüsse aus der Tatsache ziehen, daß Techniken mehr dem harten oder weichen Pol zuzuordnen sind. Zentral angelegte Wasserreservoirs erhöhen beispielsweise die Versorgungssicherheit der Bevölkerung und verhindern auch bei Trockenperioden Engpässe in der Trinkwasserversorgung; das Eigenrisiko ist gering. Die Rückkehr zur autonomen Energieversorgung und Ernährung würde aller Voraussicht nach die Nettorate der Sachzwänge eher erhöhen als vermindern, wobei die geringe Abhängigkeit von der zentralen Technik und der hochdifferenzierten Landwirtschaft gegen eine hohe Abhängigkeit vom natürlichen Regelkreis eingetauscht würde. Das letztere mag einem aus der Distanz betrachtet sympathischer sein, aber man gewinnt dadurch nicht mehr an Freiheit.

Technik und Herrschaft

Gesellschaftskritische Autoren kreiden der Großtechnik an, daß sie die bestehende Gesellschafts- und Herrschaftsordnung zementiere. Einerseits sei die Funktion dieser Technik ganz auf die Erfüllung macht-stabilisierender Aufgaben ausgerichtet, andererseits verhindere ihre Komplexität ein Engagement der Unterprivilegierten, weil sie ihre eigene Unterdrückung auf maschinelle Sachzwänge, gegen die man ohnehin machtlos sei, zurückführten und die dahinter liegenden Interessen der Mächtigen übersehen würden. Im Gegensatz zum vorherigen Punkt wird nicht die Existenz von Sachzwängen problematisiert, sondern die Frage, wem diese echten oder vermeintlichen Zwänge nützen [93].

Tatsächlich dienen technische Werkzeuge oft als vermittelnde Instanzen zwischen gesellschaftlichen Gruppen. Sie entschärfen soziale Gegensätze, indem sie sie anonymisieren. Die Stechuhr in der Fabrik entbindet den Fabrikanten von der unangenehmen Pflicht, selbst durch persönliche Kontrolle die Arbeitszeit seiner Angestellten zu überwachen. Ein weiteres, extremes Beispiel ist die Kriegstechnik, wo derjenige, der sie im Kampf einsetzt, nicht einmal das furchtbare Leid wahrnimmt, das er anrichtet.

Die These von der herrschaftsstabilisierenden Funktion der Technik ist nicht falsch, sie verengt aber die Perspektive auf einen einzigen Aspekt. Die sozialen Funktionen der Technik, auch der Großtechnik, sind so vielseitig und vielfältig, wie es Beziehungen in der Gesellschaft gibt. Techniken dienen als Instrumente, um soziale Aufgaben besser, qualitativer und zeitökonomischer zu bewältigen (etwa der Einsatz von Sprachlabors im Bildungswesen); sie tragen dazu bei, soziale Situationen oder Rollenbeziehungen zu erleichtern (etwa automatische Leit- und Steuerungssysteme); sie helfen, den Kommunikations- und Informationsfluß aufrechtzuerhalten (etwa Telefon, Radio); sie erhöhen die Flexibilität der eigenen Freizeitge-

staltung (etwa Heimbohrer, elektrischer Strom); sie geben Raum für neue Berufe und Tätigkeiten (etwa Programmierer); sie ermöglichen die Überwindung von Zeit und Raum (Verkehrsmittel, Telegraphie); sie übernehmen unangenehme oder monotone Tätigkeiten (Spülmaschine, Industrieroboter); sie verringern natürliche Abhängigkeiten und Risiken (Heizung, Röntgengerät) - die Liste ließe sich endlos fortsetzen [94]. Wichtig ist noch, daß der Einsatz vieler Techniken auch Herrschaftsverhältnisse auf den Kopf gestellt hat. Die bürgerliche Emanzipation aus der Klammer des Feudalismus wäre ohne die neu entwickelte Technik der Produktionsverfahren nicht denkbar gewesen. In gleicher Weise nehmen ja auch die alternativen Theoretiker an, mit der Epoche der sanften Technik beginne auch die Umschichtung der Klassenverhältnisse. Ob man dies begrüßt oder ablehnt, ist eine Frage persönlichen Ermessens. Kurzfristig ist es aber, Techniken nur deshalb abzulehnen, weil sie auch politische Stabilität mit sich bringen. Sie mögen dies zwar wirklich tun, ihr Funktionsradius ist aber so groß, daß zusammen mit der angenommenen negativen Konsequenz auch alle positiven Aspekte fortfallen und möglicherweise unüberbrückbare Lücken hinterlassen würden. Technik als Mittel des politischen Kampfes hat nur dort einen Sinn, wo für alle Funktionen entsprechende Alternativen bereitstehen.

Technik und Konsum

Am weitesten entfernt von der unmittelbaren Sachlogik der Technik-Debatte ist der Zweifel an dem Konsumstreben unserer Gesellschaft. Hier wird argumentiert, die Technik bedinge einen immer größeren Ausstoß materieller Güter, die einerseits auf einen gesättigten Markt stießen und damit kaum noch Befriedigung auslösten, andererseits nur noch kompensierend das retten könnten, was durch andere Konsumgüter bereits an Lebensqualität verspielt worden sei (etwa reines Trinkwasser in Flaschen). Die Verbindung zur Technik ist hier nur indirekt über den Rationalisierungsprozeß bei der Güterproduktion und dem ihm innewohnenden Zwang zur Expansion der Wirtschaft herzustellen. Außerdem wird eine psychologische Parallele von dem Größenwahn der Technokonstruktoren und dem Konsumwahn der kapitalistischen Gesellschaft gezogen [95].

Zunächst einmal übersieht diese Art der Konsumkritik die zunehmende Verlagerung des Güterangebotes von materiellen, physiologisch wichtigen Bedarfsprodukten auf Artikel und Dienstleistungen, die Bedürfnisse nach sozialer Achtung und Selbstverwirklichung widerspiegeln. In diesem Bereich lassen sich jedoch keine Sättigungsgrenzen erkennen. Zum zweiten führt sie zu einer fruchtlosen Unterscheidung zwischen verdienstvollen und überflüssigen Gütern, die - wie auch immer man es anstellt - zu einer elitären Festlegung dessen führt, was für den Menschen gut sein soll. Den Bedürfnissen und ihrer Befriedigung liegen subjektive Ermessensfragen zugrunde, die eine Verallgemeinerung von Produktbewertungen ausschließen. Viele Menschen verbinden Vorstellungen, Erwartungen oder symbolische Hoffnungen mit einem Produkt, das für andere völlig wertlos sein mag. Zum dritten darf die historische Leistung des kapitalistischen Industriesystems, die Egalisierung des Konsums, nicht übersehen werden. Erst durch kapitalistische Produktionsverfahren wurde es zu einer Systemnotwendigkeit, die Bereitstellung von Gütern auch für die Unterprivilegierten als Stütze des eigenen Wirtschaftssystems zu verankern [96]. Die Egalisierung findet zwar dort ihre Grenze, wo Güter nicht weiter vermehrbar sind (etwa Villen im Tessin, Grundstücke im Grüngürtel) [97]. Solche positionellen Güter sind aber Problemfälle in jeder Wirtschafts- und Sozialordnung und müssen nach bestimmten politischen Kriterien verteilt werden, etwa durch das Primat der Kollektivnutzung (See als Schwimmbad) oder durch Verteilungsschlüssel (wer bietet das meiste, wer hat den größten Nutzen?). Viertens übertreibt die These vom Konsumterror das Ausmaß der Abhängigkeiten und Manipulationsgefahren der Konsumenten. Diese beweisen nämlich durchaus kritisches Urteilsvermögen bei der Be-

wertung von Konsumgütern, was sich schon darin zeigt, daß jede dritte Produktinnovation eine Fehlinvestition wird und die Unternehmen Milliarden dazu aufwenden, um die Bedürfnisse ihrer Kunden durch Marktforschung im voraus abschätzen zu lassen [98]. Der dumme und manipulierte, vom Konsum gebeutelte Massenmensch ist oft nur ein vorurteilbeladenes Zerrbild im Denken der gehobenen Bildungselite, die in der Verabsolutierung der eigenen, oft immateriellen Bedürfnislage zu wissen glaubt, was der Arbeiter wirklich wolle.

Dennoch ist die Konsumkritik in drei Punkten berechtigt: Erstens werden viele Güter nur dadurch verkauft, daß ihre Produktion oder die Herstellung anderer Konsumgüter Schäden anrichten, die mit Hilfe neuer Güter wieder kompensiert werden müssen. Man treibt also den Teufel mit Beelzebub aus. Zweitens verbinden Produzenten bei sich anzeigenden Sättigungserscheinungen und durchgezogener Egalisierung Fremdattribute mit ihren Produkten, wie Sex-Appeal, Familienglück, Nostalgie und anderes mehr, um über diese symbolischen Eigenschaften den weiteren Absatz aufrechtzuerhalten. Derselbe Mechanismus wird auch angewandt, um qualitativ gleiche Produkte (wie etwa Waschpulver) durch Fremdattribute voneinander abzuheben. Drittens versuchen die Produzenten, Bedürfnisse in viele kleine Einzelwünsche zu zerstückeln, um die Menge der verkauften Einheiten pro Bedürfnis zu maximieren (Beispiel Mode). Alle drei Mechanismen haben bei vielen Menschen Frustrationen hervorgerufen, deren Ursache sie nicht erkennen [99].

Eine Abhilfe aus dieser Situation erfordert nicht nur eine strengere Überwachung der Chancengleichheit von Produzent und Konsument, sondern auch eine Reihe von politischen Maßnahmen, wie:

- durchgängige und konsequente Anwendung des Verursacherprinzips,
- stärkere kollektive Nutzbarmachung positioneller Güter,
- verstärkte Verankerung der Konsumlehre und des Verbraucherschutzes in Schule und Bildung und
- bewußte Förderung umweltschonender und immaterieller Produkte und Dienstleistungen und Erhöhung der Attraktivität eines Güterangebots mit geringen negativen externen Effekten.

Völlig verfehlt wäre es aber, aus der berechtigten Konsumkritik eine Lenkung der Produktions- und Warenstruktur ableiten zu wollen. Dies setzt in jedem Falle eine Ideologisierung des Wirtschaftsgeschehens voraus, die nicht demokratisch legitimiert werden kann. Ebenso falsch wäre es, aus der Kritik am Konsum eine Kritik an der Technik zu entwerfen. Konsumexzesse sind weder Zeichen einer bestimmten Technostruktur, noch Systemmarginalien einer hochdifferenzierten Gesellschaft.

6.2 Das alternative Leben; Humanität ohne Zwang?

6.2.1 Die Gestaltungsmerkmale einer neuen Gesellschaft

Das Schwergewicht der Analyse liegt bei der vorliegenden Studie auf den sanften Techniken und ihren technischen, wirtschaftlichen und sozioökonomischen Aspekten.

Schon im letzten Kapitel wurde die streng technische und wirtschaftliche Diskussionsebene verlassen und die Forderung nach sanften Technologien in ihrem gesellschaftstheoretischen Kontext behandelt. Dieser Kontext geht natürlich weit über die Reflexion von Technik und Gesellschaft hinaus: Inzwischen ist die Frage der Technik lediglich zu einem Teilbereich innerhalb einer größeren Bewegung für eine alternative Lebensweise geworden. Die Utopie einer sanften Gesellschaft ohne Leistungsdruck, Entfremdung und Sinnleere ist das Leitbild des alternativen Lebensstils. Der Entwurf einer alternati-

ven Gesellschaft reicht von neuen ökonomischen Regelsystemen bis hin zur veränderten Bildungsidealen und Lebensformen. Der rote Faden spannt sich, ausgehend von neuen Formen der Technik, über Veränderungen der Zielvorstellungen von Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik, über das Primat der Ökologie vor der Wirtschaftlichkeit bis hin zu mehr dezentralen und solidarischen Organisations- und Kooperationsformen im Zusammenspiel von Gruppen und Individuen. Die Mosaiksteine dieser neuen Theorie entstammen im wesentlichen vier Quellen: Von der Studentenbewegung hat sie ihre antikapitalistische Stoßrichtung - jedoch ohne Übernahme einer marxistischen Heilslehre - sowie die Theorie der sozialen Kontrolle und Funktion von Technik (Marcuse) übernommen; von der Ökologie-Bewegung stammt ihr moralischer Impetus, ihre sinngebende Legitimation und ihr Wertesystem; von den Bürgerinitiativen hat sie Organisations- und Aktionsformen übernommen und von den alternativen Lebensstil-Gruppen konkrete Gestaltungsformen für die utopische Gesellschaftsstruktur (Abb. 34) [100]. Die Grundzüge des alternativen Gesellschaftsentwurfes sind noch umstritten und innerhalb der einzelnen alternativen Schulen noch Gegenstand heftiger Kontroversen. Dennoch lassen sich einige Grundlinien der alternativen Utopie aufzeigen, die hinreichend die Position der meisten Theoretiker beschreiben. Sie sind schlagwortartig in einem Bild (Abb. 35) zusammengefaßt [101]. Aufgrund der dort aufgeführten Argumente lassen sich vier Grundthesen einer alternativen Gesellschaftsstruktur ableiten:

1. Der alternative Lebensstil prägt dem Wirtschaftsgeschehen eine neue Zielgebung auf: keine Maximierung von Produktion und Profit, sondern Bedürfnisbefriedigung durch mini-

malen Einsatz von Energie, Rohstoffen, Kapital und Großtechnik.

2. Nur solche Produktionsverfahren und Konsumgewohnheiten sind erlaubt, die externe Effekte auf Umwelt, Gesellschaft und Individuum minimieren und das ökologische Gleichgewicht nicht beeinträchtigen.
3. Die Gesellschaft gliedert sich in viele teilautarke Gemeinschaften, die durch basisdemokratische Beschlußfassung und weitestgehende Mitbestimmung ihre politischen und sozialen Belange selbst regeln. Der gesellschaftlich erwirtschaftete Reichtum wird möglichst gleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt.
4. Technik, Umweltgestaltung, Produktionsverfahren und politische Verfassung müssen dem Ziel Rechnung tragen, jedem Menschen eine überschaubare und selbst bestimmbare Lebenssphäre sowie die Mittel zur eigenen Selbstverwirklichung und einem humanen Lebensstil zu gewährleisten.

In der heutigen Diskussion um die alternative Zukunft sind weniger diese Ziele als der Weg dorthin umstritten. Auf der einen Seite wird eine Form der Subsistenzwirtschaft mit Eigenversorgung an Nahrung und Energie propagiert, auf der anderen Seite sollen nur Systemmerkmale und Strukturen verändert, aber grundsätzliche Siedlungs- und Lebensformen in der Bundesrepublik Deutschland beibehalten werden. Eine Simulation solcher Gesellschaftsentwürfe würde im Rahmen dieser Abhandlung zu weit führen. Hier sei auf die entsprechende Literatur verwiesen [102].

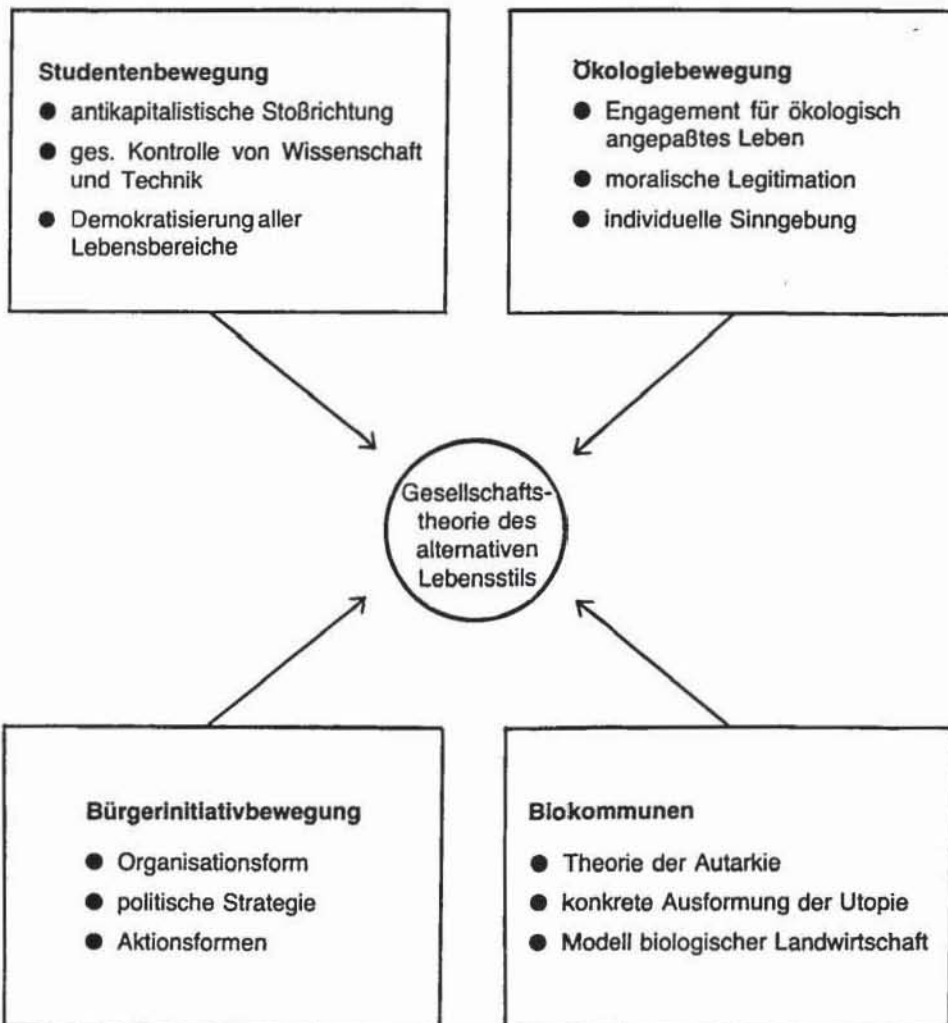


Abb. 34:
Quellen des alternativen Gesellschaftsentwurfes

6.2.2 Kritische Anmerkungen zu einem alternativen Gesellschaftsentwurf

Analog der Vorgehensweise bei der Behandlung der sanften Technik wollen wir auch die Vorstellungen des alternativen Lebensstils einer kritischen Überprüfung unterziehen. Viele Forderungen an die neue Technik werden auch auf die Steuerung der Gesellschaft übertragen: Die Dezentralisierung der Technik findet eine Parallele in dezentralisierten, teilautonomen politischen Einheiten; Selbststeuerung der Technik korrespondiert mit dem Konzept der Basisdemokratie; ökologisch angepasste Techniken sind in gleichem Maße Garant und Symbol für die ökologisch ausgerichtete Wirtschaftspolitik. Trotz dieser Analogien stößt man bei der Abhandlung des alternativen Gesellschaftsentwurfs auf größere Probleme. Je höher man sich nämlich auf der Makroebene der Gedankenkette bewegt, desto vielfältiger werden die zu analysierenden Merkmale, desto komplexer werden die Zusammenhänge und desto subjektiver werden die Schlußfolgerungen. Um dem Dilemma zu entgehen, eigene politische Ordnungsvorstellungen zum Maßstab der Kritik zu erheben, sollen im folgenden nur relativierende Merkmale zum alternativen Gesellschaftsentwurf angebracht werden, deren Funktion es sein soll, außer Acht gelassene oder nicht hinreichend berücksichtigte Effekte in Erinnerung zu rufen. Eine Bewertung des Alternativentwurfes sprengt den Rahmen wissenschaftlicher Beweisführung, denn die Unzufriedenheit mit der heutigen Gesellschaft und die Ziele der

neuen Utopie sind Produkte subjektiver Betroffenheit, eigener Lebenserfahrung und persönlicher Werte. Damit soll der soziale Charakter der Bewegung und die kollektive Erfahrbarkeit von Mängeln nicht geleugnet, sondern nur auf den Tatbestand hingewiesen werden, daß für den einen die Realisierung einer sanften Zukunft die Erfüllung seines Lebens mit sich bringen kann, während für den anderen eine solche Zukunft unerträglich sein mag. Lebensstil und Wertehierarchie können nur soziologisch reflektiert, aber ihre Wertigkeit nicht intersubjektiv festgehalten werden. Deshalb also im folgenden: Keine durchgreifende Kritik, sondern kritisch begleitende Anmerkungen.

Alternative Ökonomie

Die Kritik der alternativen Theoretiker richtet sich häufig gegen das Primat der Wirtschaftlichkeit in unserem ökonomischen Ordnungsrahmen und insbesondere gegen das Profitstreben als Maßstab wirtschaftlichen Geschehens. Dabei wird der Sinn wirtschaftlichen Handelns oft verkannt [103]. Das Postulat der Wirtschaftlichkeit bedeutet nämlich Optimierung aller Produktionsverfahren auf ein kostenmäßiges Minimum. Eine alleinige Minimierung von Energieeinsatz und Rohstoff führt dagegen zwangsläufig zu einer Verschwendung von Kapital und Arbeit. Wenn man dies in Kauf nimmt, muß man mit folgenden Nachteilen rechnen:

- reale Lohneinbußen
- geringere Produktivität

Abb. 35:
Argumente für einen alternativen Lebensstil

Ökonomie	Ökologie
<ul style="list-style-type: none"> - hoher Wirkungsgrad - technisch flexibel - kostengünstiger - nicht kapitalintensiv - mehr Marktwirtschaft - weniger Monopolbildung - externe Effekte berücksichtigt - geringe Verletzlichkeit - Langzeitgüter - nicht profitorientiert 	<ul style="list-style-type: none"> - natürliches Gleichgewicht - umweltschonend - Anerkenntnis der Wachstumsgrenzen - rohstoffeinsparend
<ul style="list-style-type: none"> - Ausgleich mit Entwicklungsländern - bessere Distribution des ges. Reichtums - geringe Bürokratisierung - keine Abhängigkeit von Experten - kein Atomstaat - mehr Partizipation 	<ul style="list-style-type: none"> - mehr Unabhängigkeit vom Konsum - Mensch-Natur-Verhältnis in Einklang gebracht - Nicht-materielle Bedürfnisse befriedigt - Selbstbestimmung des Risikos - Überschaubarkeit der Technik - mehr persönliche Freiheit - mehr Mitbestimmung - mehr Selbstverwirklichung - Abbau von Angst und Bedrohung - humanerer Lebensstil
Gesellschaft	Individuum

- geringere Exportchancen
- sinkender Wohlstand.

Der Profit als Motor des privaten Wirtschaftsgeschehens kann ebensowenig als ein Freibrief für ökonomische Verschwendung interpretiert werden. In einer Wettbewerbswirtschaft kann der Profit durchaus die ihn zugeordnete Funktion als Sparsamkeitsanreiz erfüllen. Nur bei wenigen Anbietern (Oligopole oder sogar Monopole), müssen staatliche Kontrollmechanismen wirksam werden. Die beste und sparsamste Kombination aller Produktivkräfte (optimale Allokation) kann im realen Kapitalismus durch die Schaffung eines freien Marktes, durch Marktstimulation oder durch staatliche Maßnahmen angestrebt werden. Als korrigierende Eingriffe des Staates kommen etwa Maßnahmen zur aktiven Wettbewerbspolitik, zur Kontrolle von Oligopolen und Monopolen und zur Internalisierung von externen Effekten (konsequente Anwendung des Verursacherprinzips) in Frage.

Eine dezentrale oder teilautarke Wirtschaftsform würde die Nachteile einer profitorientierten Wirtschaft nur zum Teil überwinden, dafür aber neue Mängel erzeugen. Denn die Abhängigkeit von bestimmten Güterproduzenten (etwa den Herstellern von Sonnenkollektoren) würde in dem Maße ansteigen, wie alternative Möglichkeiten aus der Versorgungsstruktur verbannt werden (Kernenergie, Öl o. a.). Es gibt keine Gewähr dafür (außer durch Verbote), daß diese lebenswichtigen Güter einer sanften Gesellschaft nicht auch monopolistisch hergestellt oder kontrolliert werden. Diese Entwicklung zur Marktkonzentration ist um so eher zu erwarten, als die auch von den alternativen Theoretikern postulierte Kostendegression der "sanften Energiesysteme" nur bei zentralen Produktionsanlagen zum Tragen kommen.

Eine Subsistenzwirtschaft mit Selbstversorgung im Energie- und Ernährungsbereich dürfte für eine Familie mit 2 Kindern mehr als 5 Stunden Arbeitszeit pro Tag erfordern. Diese Zeit müßte noch neben der regulären, sicherlich verkürzten Arbeitszeit in Industrie, Handwerk oder Wirtschaft bewältigt werden. Wegen der verkürzten Arbeitszeit und der Minimierung der Produktionsfaktoren Energie- und Rohstoffeinsatz würde die Produktionsleistung zwangsläufig absinken. Die teilautarken Strukturen würden darüber hinaus die Arbeitsproduktivität noch weiter verringern, weil nur solche technischen Anlagen in einer sanften Gesellschaft erlaubt wären, die leicht zu überschauen und zu handhaben sind. Solche Geräte sind in der Regel nicht die effektivsten, d. h. die Arbeitsleistung pro Stunde würde geringer ausfallen. Eine gesunkene Arbeitsproduktivität hätte wiederum zur Folge, daß sich die Produkte der Bundesrepublik Deutschland auf dem Weltmarkt erheblich verteuern würden. Im Endeffekt wäre trotz immensen Arbeitsvolumens nur noch der elementare Lebensbedarf zu decken [104].

Alternative Ökologie

Die Theoretiker des alternativen Lebensstils gehen von der falschen Prämisse aus, daß der technische Fortschritt, insbesondere der technische Zentralisierungsgrad, einen überproportionalen Anteil an der Umweltbelastung und an ökologischen Fehleingriffen des Menschen habe. Wie wir bereits im Kapitel Technik und Umweltschutz ausgeführt haben, läßt sich diese Behauptung nicht aufrecht erhalten. Dazu noch einmal kurz einige Stichpunkte:

- Der Energiebedarf pro Ausstoß von Gütern sinkt seit 25 Jahren beständig (von 1962 bis heute um mehr als 27 %)
- Technische Innovationen verringern den Materialverbrauch pro Einheit und die umweltbelastenden Nebenwirkungen
- Moderne technische Geräte machen erst umweltschützende Maßnahmen möglich
- Der Zentralisierungsgrad verringert, gewichtet auf die Produktzahl, das Ausmaß der Umweltbelastung.

Die zunehmende Umweltbelastung ist also nicht auf die zentralisierte Technik, sondern auf die Expansion des Gütermarktes zurückzuführen. Insofern ist es verfehlt, der Technik eine Entwicklung anzulasten, für die sie nicht verantwortlich ist. Allerdings ist es durchaus sinnvoll, an den Rahmenbedingungen des ökonomischen Systems Kritik zu üben. Im groben werden heute drei Vorschläge diskutiert, um unserem Wirtschafts- und Sozialsystem zu einer verbesserten Umweltbilanz zu verhelfen:

- Weiteres expansives Wirtschaftswachstum mit peripheren Eingriffen gegen Umweltverschmutzung,
- Stärker gelenktes Wirtschaftswachstum mit Steuerung auf umweltschonende Produktionsverfahren und der Befriedigung immaterieller Bedürfnisse,
- Einschränkung der Güter- und Produktpalette und Konzentration des Konsumgüterangebotes auf echte Bedürfnisse.

Alle drei Wege sind grundsätzlich gangbar: Es ist eine politische Ermessensfrage, welchem Weg man den Vorzug gibt. Alle drei haben Vor- und Nachteile. Unserer Überzeugung nach wird der erste Weg auf Dauer ein Ungleichgewicht zwischen erfahrbare Lebensqualität und Überfluß an Gütern entstehen lassen, während der dritte eine elitär gelenkte Wirtschafts- und Konsumstruktur zur Voraussetzung hat, die das Prinzip der Konsumentensouveränität unterhöhlt. Möglicherweise wäre damit auch der Zwang zu asketischer Lebensweise verbunden (zumindest bei einer durchgezogenen Subsistenzwirtschaft ist ein weitgehender Konsumverzicht kaum vermeidbar). Der zweite Weg über stärker qualitativ gesteuerte Wachstumsimpulse hätte den Vorteil, die Prinzipien von Ökonomie und Ökologie in einem Kompromiß zu verbinden, birgt jedoch auch die Gefahr in sich, durch eine staatliche Bürokratie, durch Fehlinvestitionen und dogmatische Steuerungsimpulse die Flexibilität der modernen Volkswirtschaft zu lähmen. Nach unserer Einschätzung ist im Vergleich zu beiden übrigen Optionen der zweite Weg dennoch die relativ beste Lösung, weil bewährte ökonomische Steuerungssysteme erhalten und gleichzeitig Rahmenbedingungen gesetzt werden, die eine lebenswerte Zukunft ermöglichen. Als wirtschaftspolitische Instrumente einer Steuerung nach den Prinzipien des zweiten Weges wären zu nennen:

- strikte Anwendung des Verursacherprinzips
- Sozialabgaben auf nicht durch das Verursacherprinzip erfaßte umweltschädigende Produkte
- Investitionsanreize und Förderung umweltschonender Produktionsverfahren
- finanzielle und soziale Anreize zum Energiesparen und zum sorgsamem Natur- und Gewässerschutz.

Alle diese Maßnahmen befinden sich innerhalb des Rahmens marktwirtschaftlicher Makroplanung und würden damit das bestehende Wirtschaftssystem in der Bundesrepublik Deutschland nicht sprengen.

Alternative Gesellschaft und Politik

Die Kritik der alternativen Theoretiker an der modernen Gesellschaftsstruktur entzündet sich in erster Linie an dem Grad der Differenzierung und Komplexität sowie an Formen der Machtzusammenballung und Herrschaftsausübung [105]. So wenig negative Auswirkungen unserer Gesellschaftsstruktur geleugnet werden sollen, so wenig kann die globale Kritik der alternativen Theoretiker und ihr Gegenentwurf überzeugen.

Wirtschaftliche und gesellschaftliche Differenzierung bedingen sich gegenseitig: Ein Abbau der Differenzierung würde die Freiheitsspielräume des Menschen einengen und seine Möglichkeiten zur Selbstentfaltung auf wenige Alternativen beschränken. Viele "alternative" Kritiker übersehen auch, daß politische Machtverhältnisse und Herrschaftsformen in hoch-

differenzierten Gesellschaften viel weniger ausgeprägt sind als in weniger differenzierten, weil der Erhalt der Macht in Industriegesellschaften von den Vorleistungen anderer Funktionsträger unmittelbar abhängt und insofern reziproke Abhängigkeiten vorliegen [106]. Demgemäß finden sich in dezentralen, teilautarken Gesellschaftsformen in der Regel viel autoritärere Herrschaftsstrukturen als in zentralisierten Gesellschaftsformen, wenn auch dort die Spielräume der Machtentfaltung größer sind.

Ein höheres Maß an Partizipation und Basisdemokratie ist nicht an bestimmte Gesellschaftsformen gebunden. In einer hoch differenzierten Gesellschaft muß jedoch die Möglichkeit zu Kompromissen wahrgenommen werden. Dies bedeutet: Bei dezentralen, teilautarken Gesellschaftsstrukturen haben die Menschen zwar eine geringe Anzahl an Möglichkeiten, aus denen sie auswählen können, ihre Wahl ist jedoch relativ unabhängig von dem Verhalten anderer Menschen und vollzieht sich innerhalb eines überschaubaren sozialen Rahmens. Bei zentralen, hochdifferenzierten Strukturen besitzen die Menschen dagegen eine Vielzahl von Möglichkeiten, ihre eigene Lebensweise zu gestalten. Allerdings ist diese Auswahl an eine Abstimmung mit anderen Funktionsträgern gebunden und bei Problemen mit kollektiver Geltungskraft müssen Entscheidungen delegiert werden. Beide Systemformen haben also ihre Vorteile, aber auch ihre Engpässe. Das Modell der Basisdemokratie, d. h. der Selbstbestimmung der Menschen an dem Ort, an dem sie wohnen, setzt voraus, daß nur noch wenige Abhängigkeiten der Kommunen untereinander bestehen. Bei hohem Differenzierungsgrad würde nämlich ein Chaos entstehen, wenn aufeinander angewiesene Teilsysteme einer Gesellschaft ohne Rücksicht auf ihre gegenseitige Funktion ihre eigenen Interessen vertreten würden. Zwei Beispiele: Wenn alle niedergelassenen Ärzte in der Bundesrepublik Deutschland in einer urdemokratischen Abstimmung einstimmig beschließen, in den Monaten Juli und August gemeinsam Urlaub auf den Bahamas zu machen, so wäre dieser Beschluß für die Gesellschaft untragbar, weil die Bevölkerung auf eine ärztliche Versorgung angewiesen ist. Ebenso undenkbar – aber leider in manch anderen Ländern eine bittere Realität – ist die Vorstellung, daß die Angehörigen des Militärs in einer urdemokratischen Abstimmung darüber entscheiden könnten, ob die Bundesrepublik Deutschland Krieg führen soll oder nicht. Der grundlegende Konflikt zwischen Partikularinteressen eines Subsystems oder einer lokalen Struktur und den für das Funktionieren einer Gesellschaft notwendigen Maßnahmen läßt sich nicht dadurch auflösen, daß man der einen Seite, nämlich den partikularen Interessenvertretern, das Entscheidungsfeld ganz überläßt. Umgekehrt ist es ebenso verfehlt, Entscheidungen nur nach der Rationalität des Zentralsystems zu treffen und lokale Belange unter den Tisch zu kehren. Extreme Lösungen (Lokalautarkie oder totaler Zentralismus) sind selten optimal: Eine Teilautonomie im lokalen Bereich mit Verantwortung für das Ganze bei einem relativ hohen Grad der Differenzierung dürfte hier der sinnvollste Weg sein. Eine gestaffelte Hierarchie mit Freiräumen für lokale Entfaltung, so wie es unsere Verfassung vorsieht, kommt diesem Gedanken sehr nahe.

Individuum und alternative Gesellschaft

Die Selbstverwirklichung eines Menschen hängt maßgeblich von der Wahrnehmung eigener Entfaltungsmöglichkeiten und den Chancen ihrer Realisierbarkeit ab [107]. Werden durch neue Entwicklungen, etwa der Reduktion von Differenzierung, Entfaltungsmöglichkeiten begrenzt, so ist Unzufriedenheit die Folge. Alternative Theoretiker weisen gerne auf Naturvölker, die bei relativ geringem Differenzierungsgrad und geringerer Ausstattung an Konsumgütern dennoch kein Mangelempfinden äußern. Dieser Vergleich ist jedoch nicht stichhaltig, weil es nicht auf die absolute Anzahl an Alternativen ankommt, son-

dern auf die Wahrnehmung von Entfaltungsmöglichkeiten. Werden, wie bei Naturvölkern, keine anderen Chancen der Lebensverwirklichung gesehen, so ist man mit dem Zufrieden, was man hat und was man erreichen kann. Die vielfache Unzufriedenheit in den heutigen Entwicklungsländern ist größtenteils auf die Tatsache zurückzuführen, daß die Oberschichten in diese Länder einen Lebensstil verwirklichen, der ihnen in früheren Jahrhunderten auch bei absoluter Machtentfaltung nicht möglich gewesen wäre. Die Wahrnehmung der Diskrepanz zwischen extrem arm und extrem reich verschärft die sozialen Konflikte.

Würden dem durchschnittlichen Bürger der Industriegesellschaft Differenzierungsmöglichkeiten versagt und Konsumwünsche eingeschränkt, so kann mit relativer Sicherheit eine höhere Unzufriedenheit vorhergesagt werden, weil jeder um die Möglichkeit einer höheren Bedarfsdeckung wüßte. Die Unzufriedenheit des heutigen Industriebürgers, die wahrgenommenen Entfaltungsmöglichkeiten nicht alle realisieren zu können, wird im alternativen Lebensstil durch eine neue Unzufriedenheit abgelöst, nämlich in den Entfaltungsmöglichkeiten beschnitten zu sein. Es erscheint widersinnig, die Unzufriedenheit dadurch überwinden zu wollen, das man eine Voraussetzung für Zufriedenheit opfert, ohne sich der zweiten sicher zu sein.

Vielmehr sollte es bei einer Reform gesellschaftlicher Chancenverteilung um den Erhalt möglichst vieler Optionen zur Gestaltung des eigenen Lebensweges gehen, wobei vordringlich die Aufgabe zu erfüllen ist, die von den Individuen präferierten Lebenspläne mit dem Angebot an Lebensmöglichkeiten in Einklang zu bringen. Die Beschneidung von Optionen auf eine angeblich menschlich und natürlich angepaßte Lebensform verabsolutiert nicht nur die Mangelanfahrung bestimmter gesellschaftlicher Gruppen, sie leistet darüber hinaus einer elitären Ideologie Vorschub, nämlich zu wissen, was der Mensch wirklich wolle. Eine demokratische und offene Gesellschaft muß dagegen von dem Grundgedanken ausgehen, daß jeder Mensch ein Recht auf die ihm gemäße Art der Selbstverwirklichung hat. So halten wir es beispielsweise für sinnvoll und legitim, in unserer Gesellschaft alternativen Gruppen die Möglichkeit offenzuhalten, anders zu leben als die meisten Bundesbürger. Wenn diese Lebensweise aber in missionarischem Eifer zu einem Modell für die ganze Gesellschaft gemacht werden soll, dann wird die alternative Freiheit schnell zu einer alternativen Zwangsjacke.

Eine wirkliche Therapie gegen die tatsächlich vorhandene Unzufriedenheit in weiten Kreisen der Bevölkerung könnte folgende Maßnahmen umfassen:

- verbesserte Bildungs- und Berufschancen,
- verstärkte Angebote für immaterielle Bedürfnisse,
- größere Kontrollmöglichkeiten des einzelnen in der eigenen Lebens- und Umweltbewältigung
- Strategien gegen die zunehmende Kopplung von materiellen Produkten und immateriellen Bedürfnissen, die auf diese Weise immer unerfüllt bleiben.

Es kann nicht Aufgabe dieser Erörterung sein, konkrete Schritte zur Verwirklichung dieser Maßnahmen zu beschreiben. Worauf es hier ankommt, ist deutlich zu machen, daß Mängel der heutigen Industriekultur durch systemimmanente Reformen angegangen werden können und daß es dazu einer Umpolung der Gesellschaft auf ein alternatives System nicht bedarf. Im Gegenteil: Eine gesellschaftliche Revolution nach grünem Muster würde viele soziale Errungenschaften des Industriesystems zunichte machen, ohne Sicherheiten dafür zu bieten, daß die angestrebten Ziele wirklich durch die Umschichtung der Gesellschaft erreicht werden.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In den vorangegangenen Abschnitten haben wir uns kritisch mit den Vorstellungen einer "sanften Energieversorgung" auseinandergesetzt und sind dabei auf die wesentlichen Argumente der Vertreter eines "sanften Weges" eingegangen, nämlich daß eine ausschließlich auf der dezentralen Nutzung regenerativer Energiequellen aufbauende Energieversorgung zahlreiche technische, ökologische, ökonomische und gesellschaftspolitische Vorteile gegenüber dem von ihnen mit "hart" bezeichneten Weg aufweist.

Der von den Vertretern eines "sanften Energiepfades" vorgeschlagene Weg (dezentrale Nutzung regenerierbarer Energiequellen) stellt eine Extremstrategie dar, die, ähnlich wie der von den Verfechtern der "sanften Energie" als einzige Alternative apostrophierte sog. "harte Weg" (ausschließliche Ausweitung des Energieangebots durch zentrale Großtechnologien), keine tragfähige Basis für unsere zukünftige Energieversorgung darstellt.

Wir haben versucht aufzuzeigen, welche technischen, ökonomischen und gesellschaftspolitischen Konsequenzen die Ausrichtung auf eine "sanfte Energieversorgung" mit sich bringen würde.

Im zweiten Kapitel dieses Berichtes haben wir mit Hilfe eines Rückblicks auf die Entwicklung der Technik im allgemeinen und der Energietechnik im besonderen aufgezeigt, daß der historische Verlauf des technischen Fortschritts hin zu größeren, komplexeren und untereinander vermaschten Systemen durchaus mit dem Evolutionsprinzip der Natur in Einklang steht, daß mit der Nutzbarmachung der Kohle quasi zwangsläufig auch der Aufbau mehr oder weniger großer Verteilungssysteme notwendig wurde, weil es galt, die Orte des Verbrauchs mit den Lagerstätten zu verbinden.

Mit dem Entwurf eines "sanften Energieszenariums" (Kapitel 3) haben wir versucht die Frage zu beantworten, ob denn eine "sanfte Energieversorgung" in unserem Land überhaupt technisch denkbar ist. Es zeigt sich, daß unter Ausschöpfung aller dezentraler Energieressourcen und einer zentralen Nutzung regenerativer Energiequellen (z. B. in Windkraftanlagen) sowie bei weitgehender Ausschöpfung von Energiesparmöglichkeiten etwa 30 % unseres Energiebedarfs durch "sanfte Energiesysteme" gedeckt werden könnte. Die Forderung einer vollständigen Umstrukturierung unserer Energieversorgung auf "sanfte Energiesysteme" scheint uns deshalb selbst bei Hintanstellung der ökonomischen und sozialpolitischen Konsequenzen nicht mehr als eine Utopie zu bleiben.

Die Ergebnisse des Wirtschaftlichkeitsvergleichs im Kap. 4 ergaben, daß die Kosten zur Elektrizitätserzeugung auf der Basis von Windkraftanlagen und die Kosten der Brennstoffgewinnung auf der Grundlage von Biomasse noch weit von der Wirtschaftlichkeitsschwelle entfernt sind. Ebenso zeigt sich im Vergleich verschiedener Raumheizungssysteme, daß die Solarsysteme, selbst bei weiteren Energiepreissteigerungen der fossilen Energieträger, unwirtschaftlich bleiben. Für die Wärmepumpensysteme und die Motor/Generator-Anlage sehen die Ergebnisse günstiger aus. Hier kann in Zukunft mit einer Wirtschaftlichkeit gerechnet werden. Weiterhin zeigte der Vergleich des gesamten Kapitalbedarfs von Energiesystemen, daß unter Berücksichtigung des Kapitaleinsatzes für die Energieförderung, Erzeugung, Transport und Verteilung sowie

Hausinvestitionen, die dezentralen Energiesysteme einen höheren Kapitalbedarf haben als die zentralen Energiesysteme (s. Kap. 5.3).

In Ergänzung zu der betriebswirtschaftlichen Kostenanalyse zeigte unsere gesamtwirtschaftliche Analyse, daß aufgrund der geringen Angebotsflexibilität der "sanften Energien" erhebliche volkswirtschaftliche Kosten entstehen können (s. Kap. 5.5).

Fragt man nach dem Arbeitskräfteeinsatz im "sanften Energiesystem", so ergab sich nach ersten Untersuchungen (Kap. 5.4), daß mehr Arbeitskräfte benötigt werden als bei "zentralen Energiesystemen". Hierdurch könnte evtl. ein sektoraler Abbau der Arbeitslosenquote erreicht werden. Da aber die "sanften Energiesysteme" unwirtschaftlich sind, führt dies entweder zu einer Beschäftigung auf niedrigerem Lohnniveau und/oder aber zu einer Subventionierung der Energiewirtschaft und damit verbunden zu einer finanziellen Belastung anderer Wirtschaftszweige. Diese Entwicklung kann wiederum strukturelle Arbeitslosigkeit hervorrufen. Weiterhin konnte aufgezeigt werden, daß der Einsatz der arbeitsintensiven, regenerativen Energiesysteme im Widerspruch zu den Zielen der Humanisierung der Arbeitswelt steht, "Arbeitskräfte durch neue Technologien zu entlasten".

Der Systemvergleich zur Beurteilung der Verwundbarkeit von dezentralen und zentralen Energiesystemen verdeutlichte, daß zentrale Energiesysteme auf der Basis fossiler, nuklearer und evtl. sogar regenerativer Energieträger auf eine funktionierende internationale Arbeitsteilung und politischen Interessensausgleich angewiesen sind und sie deshalb durch regionale Konflikte, Erpressungen, Krieg etc. anfällig sind. Hingegen sind "sanfte Energiesysteme" zwar weniger durch anthropogene Störungen verwundbar, dafür aber abhängig von den Unwägbarkeiten der Natur. Dieser vom Menschen unbeflüßbaren Abhängigkeit steht bei der Nutzung zentraler Energiesysteme ein naturunabhängiger Freiraum gegenüber, den der Mensch selbst gestalten kann.

Im Rahmen unserer sozio-ökonomischen Argumentation haben wir versucht deutlich zu machen, daß die von den alternativen Theoretikern angestrebten Ziele nicht unmittelbar oder überhaupt nicht im Zusammenhang mit den Merkmalen einer "harten" oder "weichen" Technik stehen (s. Kap. 6.1). Weiterhin läßt sich aufgrund unserer Diskussion einer "sanften Gesellschaft" in Kap. 6.2 die Warnung aussprechen, daß durch eine Rückführung auf eine Subsistenzwirtschaft im Energie- und Ernährungsbereich der Freiheitsspielraum des Menschen auf wenige alternative Lebensmöglichkeiten eingeengt wird. Sicher wird dieses utopische Gesellschaftssystem für viele attraktiv und lebenswert sein, doch der entscheidende Haken an der "sanften" Gesellschaft ist der Ausschluß einer Alternative zum alternativen Lebensstil. Während es in unserer Gesellschaft zumindest teilweise möglich ist, alternativ zu leben, wird es in einer alternativen Gesellschaft keine Chance mehr geben, nicht alternativ zu leben, da die Möglichkeit, an zentrale Versorgungseinrichtungen angeschlossen zu werden, nicht mehr besteht. Hinter diesem Manko des alternativen Lebensstils verblassen die restlichen Mängel, die sich in einer neuen, "sanften Welt" ergeben würden. Längere Arbeitszeiten, weniger Urlaub, geringeres Einkommen, ein höherer Anteil selbst zuerbringender Sozialleistungen sind nur einige dieser Nachteile, die aber durch mehr Befriedigung bei der Arbeit, bessere Umweltqualität (vorausgesetzt, die Produktionsstruktur wird grundlegend geändert und der Ausstoß des Konsums verringert) und stärkere Einbindung in gesellschaftliche Belange wettgemacht werden können. Als eine Illusion würde sich die angestrebte Basisdemokratie entpuppen, denn der vorprogrammierte Konflikt zwischen den wirtschaftlichen Interessen des Einzelnen und der angestrebten ökologischen Planwirtschaft wird zwangsläufig eine zentrale Entscheidungs- und Machtinstantz erfordern.

Der unauslöschliche Widerspruch zwischen demokratischer Selbstbestimmung und ideologisch vorgeschriebenen Wahrheiten macht die Existenz einer letzten Autorität zwingend erforderlich. Dies ist der Fall bei jeder Heilslehre, sei es eine Religion oder eine Gesellschaftstheorie. Daß alle Menschen freiwillig und demokratisch das wollen, was ihnen als ideologische Wahrheit präsentiert wird, ist und bleibt eine Utopie. Dies gilt für unser heutiges Gesellschaftssystem ebenso wie für eine Gesellschaft nach der "sanften" Revolution. Unsere derzeit offene, dynamische Gesellschaftsordnung müßte durch eine stationäre Gesellschaft ersetzt werden, mit einem relativ starren Klassensystem, festgefühten Lenkungsstrukturen, vereinfachten Lebensweisen und hohem Konformitätsdruck. Für jemanden, der eine Gesellschaft mit offenen Chancen für jeden, mit der Möglichkeit subjektiver Entfaltungsvielfalt und der Erfüllung sozialer Gerechtigkeit anstrebt und dafür auch die Nachteile von Entfremdung und Unüberschaubarkeit in Kauf nimmt, kann das Alternativmodell keine Alternative sein.

Was bleibt nun von der Idee der "sanften Energie" übrig? Messen wir die Idee an ihrer eigenen Zielsetzung, so wird eine in-

dustriepolitische Umrüstung weder mehr Humanität bringen, noch wird eine "sanfte Energieversorgung" die Nachfrage der Zukunft mit vertretbarem Aufwand decken könnten.

Was bleibt, sind die Ziele – rationeller Energieeinsatz bei gleichzeitiger Schonung der Umwelt –, die aber, wie der geschichtliche Abriß durch die Energiewirtschaft zeigte, schon seit langem verfolgt wurden. Umstritten bleibt der Weg zur Erreichung dieser Ziele. Die industrielle Entwicklung hat zu einem sozial abgesicherten Freiraum geführt, der erst die Voraussetzung für die Wahl zwischen mehreren zukünftigen Entwicklungen garantiert. Dieser Freiraum sollte nicht zugunsten eines Weges eingeschränkt werden, sondern wir sollten dem zentralen und dezentralen Weg, also beiden Lösungsvorschlägen, ausreichenden Entwicklungsspielraum sichern. Nicht zuletzt wird es vielleicht langfristig durch verstärkte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der regenerativen Energiesysteme möglich sein, einen dritten Weg zu finden, der die Vorteile der zentralen und der dezentralen Energiesysteme miteinander vereint, ohne den Nachteil von Extremlösungen in Kauf nehmen zu müssen.

8. Literaturverzeichnis

- [1] Lovins, A.B., Sanfte Energie, Das Programm für die energie- und industriepolitische Umrüstung unserer Gesellschaft, Reinbek bei Hamburg 1978
- [2] Lovins, A.B., a.a.O., S. 32-33
- [3] Lovins, A.B., a.a.O., S. 82-83
- [4] Lovins, A.B., a.a.O., S. 88 ff
- [5] Lovins, A.B., a.a.O., S. 63
- [6] Traube, K., Müssen wir umschalten? Reinbek bei Hamburg 1978
- [7] Sachsse, H., Anthropologie der Technik, Braunschweig 1978, S. 1
- [8] Sachsse, H., a.a.O., S. 1
- [9] Sachsse, H., a.a.O., S. 9-17
- [10] Näser, K.-H., Physikalische Chemie, Leipzig 1960
- [11] Sachsse, H., a.a.O., S. 14
- [12] Klaus, G., Kybernetik in philosophischer Sicht, Berlin 1965
- [13] Time-Life III, Die ersten Menschen, IV, Die Neandertaler; Time-Life International (Niederlande), 1975
Müller-Karpe, H., Geschichte der Steinzeit, München 1974
- [14] Sachsse, H., a.a.O., S. 15
- [15] Böhm-Bawerk, Positive Theorie des Kapitals, Bd. 1, Jena 1921, S. 16
- [16] Eucken, W., Kapitaltheoretische Untersuchungen, Tübingen 1954, S. 246
- [17] Bohn, Th.; Oesterwind, D., Zukünftige Energiebedarfsdeckung und die Bedeutung der nichtfossilen und nicht-nuklearen Primärenergieträger, in: Energiequellen für morgen? Studie im Auftrag des BMFT, Teil I, Frankfurt 1976, S. 2
- [18] Matschoss, C., Geschichte der Dampfmaschine, Hildesheim 1978
- [19] Buch, A., Ist die Entwicklung zu großen Leistungseinheiten im Kraftwerksbau berechtigt? in: Energie, Jg. 29, Nr. 7, Juni 1977, S. 198
- [20] Schoch, W., Nutzbarmachung fortgeschrittener Werkstoff und Verarbeitungstechnologien für Wärmekraftwerke, in: Technologien zur besseren Energienutzung in Wärmekraftwerken, Jül-Conf-19, Jülich 1976, S. 58
- [21] Schröder, K., Große Dampfkraftwerke, Bd. 1, Berlin 1968
- [22] Musil/Knizia, Die Thermodynamik des Dampfkraftprozesses, Bd. I, Berlin, Heidelberg, New York 1966, S. 18
- [23] Buch, A., a.a.O., S. 200
- [24] Schröder, K., a.a.O.
- [25] Schröder, K., a.a.O.
- [26] Schröder, K., a.a.O.
- [27] Schäff, K., Die Entwicklung zum heutigen Wärmekraftwerk, Erlangen 1977
Boll, G., Geschichte des Verbundbetriebes, Frankfurt 1968
VDEW, Das Zeitalter der Elektrizität, Frankfurt 1967
- [28] Lenhardt, W., Entwicklung des Strombedarfs in der Bundesrepublik Deutschland und alternative Möglichkeiten seiner Deckung, Jül-Spez-18, Jülich 1978, S. 68-70
- [29] Lenhardt, W., a.a.O., S. 71
- [30] Lovins, A.B., a.a.O., S. 90 ff
- [31] Hildebrandt, T., Die nächsten 50 Jahre, Ein Referenzszenarium für die Bundesrepublik Deutschland, Jül-Spez-81, KFA-Jülich 1980
- [32] Hildebrandt, T., a.a.O.
- [33] Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE), Energiequellen für morgen, Teil VI, Nutzung der Wasserenergien, Frankfurt 1976
- [34] Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE), Energiequellen für morgen, Kurzfassung, Frankfurt 1976
- [35] The Gedser Windmill, Nyt fra handelministeriets og elvarkernes vinskraftprogram, DEFU 1977 and 1979
- [36] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 1977, S. 33
- [37] Meliß, M., Möglichkeiten und Grenzen der Sonnenenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Niedertemperaturkollektoren, Jül-Spez-25, Jülich 1978
- [38] Orth, D., Niedertemperatur - Wärmeversorgung unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter neuer Technologien, Jülich 1979, Jül-Spez-65, S. 91-94
- [39] Orth, D., a.a.O., S. 94-102
- [40] Inden, P., Mikrobielle Methanerzeugung aus Biomasse durch anaerobe Fermentation im technischen Maßstab, Jül-1463, Jülich 1977, S. 8-10
- [41] Inden, P., a.a.O., S. 11-12
- [42] Dornier-System GmbH, Biologisch-Technische Systeme zur Energiegewinnung, Studie im Auftrag des BMFT, Bonn 1979, S. 25
- [43] Inden, P., a.a.O., S. 158-161
- [44] Jordan, H.W., Neuer Holzweg, Holz-Zentralblatt, Stuttgart Nr. 25, 1978, S. 421-422
- [45] Inden, P., a.a.O., S. 158-161
- [46] Bernhardt, W. et al., Ethanol aus Biomasse als zukünftiger Kraftstoff für Automobile, in: Starch/Stärke (1979), Nr. 8, S. 245-259
- [47] Bundesministerium für Ernährung, a.a.O., S. 72-73
- [48] Jarass, L., Universität Regensburg, Großtechnische Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland, Studie im Auftrag der Internationalen Energieagentur, Regensburg 1979
- [49] Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung der Kernforschungsanlage Jülich GmbH., Künftige Stromgestehungskosten von Großkraftwerken, Jül-Spez-2, Jülich 1977, S. 27
- [50] Forschungsinstitut für rationelle Energieverwendung e.V., Charakterisierung von Windenergieanlagen, Studie im Auftrag der STE, Essen 1979
- [51] Baader, W., et al., Biogas in Theorie und Praxis, KTBL-Schrift Nr. 229, Frankfurt 1978, S. 103-109
- [52] VDI-Nachrichten, Packt die Wolfsmilch in den Tank, Nr. 16, April 1980, S. 13 ff
- [53] Ruhrgas AG, Systemvergleich Fernwärme-Erdgasversorgung Essen 1977
- [54] Kollmann, H., Die räumliche Wärmebedarfsverteilung der Haushalte und Kleinverbraucher in der Bundesrepublik, Jül-Spez-64, Jülich 1979
- [55] Düring, K., Transport- und Verteilungskosten konventioneller Systeme zur Wärmeversorgung der Bundesrepublik Deutschland, Jül-Spez-57, Jülich 1979
- [56] Orth, D., a.a.O., S. 114-135
- [57] Orth, D., a.a.O., S. 105-113
- [58] Orth, D., a.a.O., S. 136-142
- [59] Orth, D., a.a.O., S. 136-142
- [60] Orth, D., a.a.O., S. 141
- [61] Orth, D., a.a.O., S. 141
- [62] Kennedy, Ed. M., Employment impact of the solar transition, Washington 1979
- [63] Programmgruppe Systemforschung u. Technologische Entwicklung, Künftige Stromgestehungskosten... a.a.O., Anhang
- [64] Bossel, H., Die vergessenen Werte, in: Der grüne Protest, hrg. von R. Brun, Frankfurt/M 1978, S. 13 ff
- [65] Müllert, N.R., Veränderungschancen in der Industriegesellschaft, in: Technik und Politik, Bd. 11, hrg. von F. Duwe, Reinbek 1978, S. 9-33
- [66] Schumacher, E.F., Die Rückkehr zum menschlichen Maß, Reinbek 1978, S. 140
- [67] Kieffer, K.W., Zur Debatte über den Begriff "Mittlere

- Technologie", in: *Alternative Konzepte*, Bd. 28, hrg. von K.W. Kieffer, Karlsruhe 1979, S. 71.
Die in Anführungszeichen gesetzten Begriffe übernimmt Kieffer von H. Bossel
- [68] Edelmann, W., Baer, S., *Alternative Technologie - Gebot der Stunde?*, Berlin 1977, S. 13 f
- [69] Bartelt, M. et al., Grundsätzliche Überlegungen zu den Motiven, den Zielen und den Möglichkeiten des Neuen Lebensstils, in: *Neuer Lebensstil - Verzicht oder Verändern?* hrg. von K.I. Wenke und H. Zilleßen, Opladen 1978, S. 57 ff
- [70] Zu den Argumenten:
Gorz, A.: *Ökologie und Politik*, Reinbek 1977, S. 87 f, S. 59 ff
Dickson, D.: *Alternative Technologie*, München 1978, S. 13 ff
Müllert, N.R.: Veränderungschancen in der Industriegesellschaft – Die Botschaft von einer sanften Lebens- und Technikreform, in: *Technik und Politik*, Bd. 11, hrg. von F. Duwe, Reinbek 1978, S. 9-33
Clark, R.: *Technology for an Alternative Society*, in: *New Scientist*, Bd. 11, I 1973, S. 66 ff
Amery, C.: Das zweite Netz: Ein Vorschlag in die Energielücke hinein, in: *Alternative Konzepte*, Bd. 25, hrg. von der evangelischen Akademie Arnoldsheim und der Stiftung Mittlere Technologie, Karlsruhe 1978, S. 51-67
Huber, J.: *Technokratie oder Menschlichkeit*, Zur Theorie einer humanen und demokratischen Systementwicklung, Achberg 1978, S. 16 ff
Mumford, L.: *Mythos der Maschine*, Kultur, Technik und Macht, Fischer Taschenbuch, Frankfurt/M 1978, S. 219 ff, S. 412 ff, S. 523 ff, S. 614 ff, S. 679 ff
Traube, K.: *Müssen wir umschalten*, Reinbek 1978, S. 148 ff, S. 157 ff
Traube, K.: *Wachstum oder Askese? Kritik der Industrialisierung von Bedürfnissen*, Reinbek 1979, S. 29 ff, S. 83 ff
Ulrich, O.: *Technik und Herrschaft - Vom Handwerk zur verdinglichten Blockstruktur industrieller Produktion*, Frankfurt 1977, S. 116 ff, S. 258 ff, S. 319 ff
Illich, J.: *Selbstbegrenzung*, Eine politische Kritik der Technik, Reinbek 1978, S. 35 ff, S. 67 ff, S. 90 ff
Lovins, A.B.: *Sanfte Energie*, Das Programm für die energie- und industriepolitische Umrüstung unserer Gesellschaft, Reinbek 1978
- [71] Krause, F., Bossel, H., Müller-Reißmann, K.F., *Energie-wende, Leben ohne Kernkraft und Erdöl*, Frankfurt/M 1980, S. 244
- [72] *Gesellschaftliche Daten 1977*, hrg. vom Presse und Informationsamt der Bundesregierung, 2. Auflage, Bonn 1978, S. 243,
Eisenbahnverkehr:
1975 – 387 Tote
Straßenverkehr:
1975 – 14.844 Tote
Luftverkehr: 1975 – 103 Tote
"Gemessen an den Verkehrsleistungen fordert der Eisenbahnverkehr nur ein Zentel der Todesopfer des Straßenverkehrs. Für die Verkehrsluffahrt ist das Verhältnis noch günstiger....."
- [73] Fischhoff, B. u.a., *Handling Hazards*, in: *Environment*, Vol.20, Nr. 7, September 1978, S. 33 ff;
Oberbacher, B. u.a., *Nutzen der Kernenergie - Eine ökologisch-ökonomische Betrachtung*, hrg. vom Bundesministerium des Inneren, erstellt vom Battelle-Institut Frankfurt/M., Bericht Nr. 300/2, Arbeitspaket 307, RSI 2-510321/40-SR 30/SR 70, Bonn 1977
- [74] Hamilton, L.D., Manne, A.S., *Health and Economic Costs of Alternative Energy Sources*. Vortrag auf der International Conference on Nuclear Power and its Fuel Cycle. Salzburg, März 1977. IAEA-Bericht CN-36/448, 1978
Inhaber, H., *Risk of Energy Production*. AECB-Report 1119, Ottawa, Ontario, März 1978.
Dazu die Kritik:
Holdren, J.P. u.a.: *Risk of Renewable Energy Sources: A Critique of the Inhaber Report*, Energy and Resources Group, University of California, Resources Systems Institute, East-West-Center, Honolulu Hawaii, Juni 1979, vgl. auch die Zusammenfassung über entsprechende Untersuchungen: *Umweltschutz bei der Nutzung von Kernenergie und Steinkohle*, Antwort auf die kleine Anfrage des Abgeordneten Beerstecher u.a. im Landtag Baden-Württemberg, 27.12.1978, Drucksache 7/5098, ausgegeben am 24.1.1979
- [75] *Arbeitsmaterial zum Thema "Kern"-Energie*, hrg. vom Kolping-Bildungswerk, Köln 1979, S. 17
Büchel, W., *Gesellschaftliche Bedingungen der Naturwissenschaft*, München 1975, S. 170
- [76] Brown, H., *Vulnerabilities of Industrial Societies*, Study funded by the Rockefeller and Ford Foundation, Research Memorandum, Laxenburg, Österreich 1978
- [77] Münch, E., *Die Sicherung kerntechnischer Anlagen und spaltbarer Materialien*, in: *Atomkernenergie - Kerntechnik*, Bd. 33, 1979, S. 229 ff
- [78] *Grundzüge eines alternativen Konzeptes zur modernen Industriegesellschaft*, verfaßt vom Bundesverband Umweltschutz e.V., in: *Energiediskussion, Informationen – Argumente – Meinungen*, hrg. vom Bundesministerium für Forschung und Technologie, Nr. 3/79, S. 52;
Jungk, R., *Vom 1000jährigen Atomreich*, in: *Der Spiegel*, Nr. 11, 1979, S. 132 f
- [79] vgl. dazu die entsprechenden Einschätzungen der Ford Foundation: in: *Das Veto*, Frankfurt 1977, S. 289 ff und der Norwegischen Kontrollkommission (aus SVA-Bulletin, Nr. 2, 1979, S. 3).
- [80] Weizsacker, C.F. von, *Wissenschaft und öffentliche Verantwortung*, in: *WWP*, Nr. 42, 1979, S. 4
- [81] *Stichworte: Verelendung, Ausbeutung, Entfremdung*, in: *Wörterbuch zur politischen Ökonomie*, hrsg. von G. von Eynern, Opladen 1973, S. 436 f
- [82] Marx, K., *Fruhschriften*, Historisch/Kritische Gesamtausgabe, Frankfurt/M. und Berlin 1927, S. 85 ff
- [83] Bolte, K.M., *Aschenbrenner K.*, Die gesellschaftliche Situation der Gegenwart, in: *Deutsche Gesellschaft im Wandel*, Opladen 1966, S. 43 ff
- [84] vgl. die Zahlen bei: *Gesellschaftliche Daten 1977*, a.a.O., S. 128 ff
- [85] Lovins, A.B., *Soft Energy Paths*, a.a.O., S. 57 ff oder Amery, C., *Das zweite Netz oder die legale Revolution*, Ein Vorschlag in die Energielücke hinein, in: *Energiepolitik ohne Basis*, hrg. von C. Amery, P.C. Meyer-Tasch, K.M. Meyer-Abich, Frankfurt/M 1978, S. 91 ff
- [86] Swaton, E., *The Determinants of Risk Perception, The Activ-Passive Dimension*, RM-76-74, Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Österreich 1976
- [87] Traube, K., *Müssen wir umschalten*, a.a.O., S. 157 ff
- [88] Büchel, W., *Gesellschaftliche Bedingungen der Naturwissenschaft*, a.a.O., S. 113 ff und 168 ff
- [89] Seifritz, W., *Sanfte Energietechnologie – Hoffnung oder Utopie?*, München 1980, S. 51 ff.
- [90] Fischer, M., *Ökologische Grenzen und Industriegesellschaft*, in: *Alternative Möglichkeiten für die Energiepolitik*, Materialien zum Gutachten, Bd 1, hrsg. von W. Lienemann et al., Forschungsstelle der evangelische Studiengesellschaft, Heidelberg 1977, S. 130
- [91] Sahlins, M., *Ökonomie der Fülle - Die Subsistenzwirtschaft der Jäger und Sammler*, in: *Technologie und Politik*, Bd. 12, hrsg. von F. Duwe, Reinbek 1978, S. 154 ff

- [92] Zum Sündenfall:
Mumford, L., *Mythos der Maschine*, a.a.O., S. 217 ff und 320 ff und 513 ff
Ullrich, O., *Technik und Herrschaft*, a.a.O., S. 108 ff
Ellul, J., *The Technological Society*, New York 1964, S. 405 ff
- [93] Ullrich, O., *Technik und Herrschaft*, a.a.O., S. 61 ff, S. 116 ff, S. 272 ff;
Huber, J., *Technokratie oder Menschlichkeit*, a.a.O., S. 32 ff und S. 109 ff
- [94] Stichwort "Technik", in: *Fischer Lexikon, Soziologie*, hrg. von R. König, Frankfurt 1967, S. 324 ff
- [95] Leiss, W., *Die Grenzen der Bedürfnisbefriedigung*, in: *Technologie und Politik*, Bd. 12, a.a.O., S. 154;
Traube, K., *Wachstum oder Askese, Kritik der Industrialisierung von Bedürfnissen*, a.a.O., S. 13 ff;
Davis, J.S., Brummer, P.H., *Bedeutet Konsum und Energiewachstum noch eine Verbesserung der Lebensqualität?* in: *Argumente in der Energiediskussion*, hrg. von V. Hauff, Bd. 6, *Energieversorgung und Lebensqualität*, Villingen 1978, S. 281 ff
- [96] Schumpeter, J.A., *Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie*, 3. Auflage, München 1972, S. 113 f
- [97] Hirsch, F., *Social Limits to Growth*, Cambridge (Mass.) 1976, S. 21 ff
- [98] Die Zahl 30 % stammt von Vertretern der alternativen Theorie: Dupuy, J.P., Gerin, F., *Produktveraltung - Auto und Medikament*, in: *Technologie und Politik*, Bd. 11, a.a.O., S. 174
- [99] Leiss, W., *Die Grenzen der Bedürfnisbefriedigung*, a.a.O., S. 161 ff
- [100] Renn, O., *Die sanfte Revolution*, Essen 1980 (in Druck) S. 14
- [101] Renn, O., a.a.O., S. 24
- [102] Amery, C.: *Das zweite Netz*, a.a.O., S. 51 ff
Huber, J.: *Technokratie oder Menschlichkeit*, a.a.O., S. 134 ff
Illich, J.: *Selbstbegrenzung*, a.a.O., S. 33 ff
Gorz, A.: *Ökologie und Politik*, a.a.O., S. 8 ff
Renn, O.: *Die sanfte Revolution*, a.a.O., S. 103ff
- [103] Schumacher, E.F., *Die Rückkehr zum menschlichen Maß* a.a.O., S. 38
- [104] Oesterwind, D. u.a., *Sanfte Energieversorgung – Eine neue Utopie?* in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Heft 2, 1980, S. 111-117
Penczynski, P., *Energie-Voraussetzung für wirtschaftliche und soziale Entwicklung*, Manuskript des Vortrages auf der HEA79, Wiesbaden 18./19. Oktober 1979
- [105] Zur Kritik: Lovins, A.B., *Sanfte Energie*, a.a.O., S. 163 ff vgl. zur Differenzierung: Bolte, K.M., Aschenbrenner, K., *Die gesellschaftliche Struktur der Gegenwart*, a.a.O., S. 38 ff
Smelser, W.J., *Social Change in the Industrial Revolution*, Chicago 1959, S. 140 ff
- [106] Luhmann, N., *Soziologie des politischen Systems*, in: *Soziologische Aufklärung*, Bd. 1, 3. Auflage, Opladen 1972 S. 162 f
Scheuch, E.K., *Soziologie der Macht*, in: *Macht und ökonomisches Gesetz*, hrg. von Ch. Watrin und H.K. Schneider, Berlin 1973
- [107] Schmidtchen, G., *Der Aufbruch ins Glück - Qualität des Lebens als Problem sozialer Motivation*, in: *Lebensqualität, Von der Hoffnung Mensch zu sein*, hrg. von H.J. Nachtwey, Köln 1974, S. 124 ff