

Zur Bewertung energetischer Systeme unter Einschluß externer Kosten

M. Weisheimer

Entscheidungsträger in der Politik, Wirtschaft und Wissenschaft stehen häufig vor Situationen, die eine umfassende Bewertung verlangen. Das trifft zu, wenn alternative Energieversorgungssysteme, -technologien und -anlagenkonfigurationen auszuwählen sind. Die Entscheidungen besitzen eine unterschiedliche energetische Relevanz und bringen für jeden einzelnen nicht unbedingt den gleichen Nutzeffekt.

Zur Bewertung als Prozeß

Allgemein gesprochen sind Bewertungen eine Aktivität in Entscheidungsprozessen und werden wissenschaftlich in der Entscheidungstheorie behandelt. Sie zielen darauf ab, Vor- und Nachteile alternativer Lösungen abzuschätzen und abzuwägen, ihre Aufwendungen und Ergebnisse zu vergleichen.

- Einerseits helfen sie, von vornherein bestimmte Verhalten bzw. Entwicklungen zu präjudizieren und dabei mögliche Folgen zu berücksichtigen. Es geht dann um die Simulation, das Durchspielen verschiedener Möglichkeiten anhand fester Entscheidungsregeln und um das Ausweisen der zu erwartenden Zielerfüllung.
- Andererseits können getroffene Entscheidungen im nachhinein auf ihre Wirkungen bewertet werden. Hier kommen dann sog. Einsetzungsmodelle zur Anwendung.

Als eine vorbeugende Aktivität hat sich im Energiebereich der letzten Jahre beispielsweise die Technikfolgenabschätzung (TA) verdient gemacht. Sie konzentriert sich auf die Herausarbeitung der komplexen Wirkungen (und Erfordernisse) techni-

scher/technologischer Weiter- und Neuentwicklungen. Mit Hilfe von „Wenn-Dann-Szenarien“ und dem Dialog mit den betroffenen gesellschaftlichen Gruppen wird versucht, eine ausgewogene Beurteilung zu finden. Da die der eigentlichen Entscheidung vorgelagerte Bewertung besonders interessant und wirksam ist, steht sie im folgenden im Mittelpunkt.

Beim Bewerten handelt es sich um einen Prozeß. Er umfaßt das Wahrnehmen der einzelnen Einflußfaktoren (Determinanten), Identifizieren, Messen bzw. Gewichten, Vergleichen und Integrieren (zu einem zusammenfassenden Werturteil) sowohl der erzielbaren Effekte als auch der hierfür erforderlichen Aufwendungen. In der Regel werden insbesondere das Gewichten und Integrieren der Teilkriterien dann schwierig, wenn sich das Bewertungsteam durch ungleiche Interessen und Motivationen auszeichnet. Selbst wenn gleiche bzw. vergleichbare Ziele und Rahmenbedingungen vorliegen, ist die Aufgabe diffizil, weil komplex. Bisher ist keine überzeugende Methodologie für eine mehrdimensionale Bewertung (Polyoptimierung) bekannt. Außerdem sind die Einflußfaktoren zu vielfältig, vgl. *Abbildung 1*.

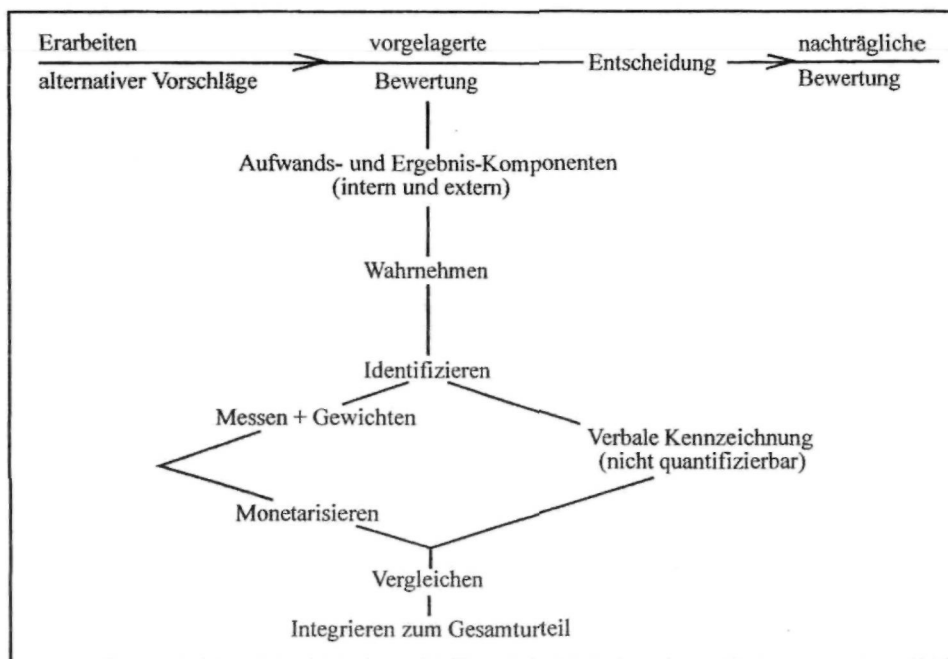


Abbildung 1: Einordnung und Phasen der Bewertung

Zur Integration von Teilbewertungen

Nehmen wir als Beispiel die energetischen Systeme, ihre Planung, Errichtung, Betreuung und Demontage. Wie umfangreich sind die Versuche, z.B. die Energieversorgungs- und -anwendungssysteme zunächst mit Hilfe einzelner objektiver Kriterien partiell zu bewerten, um dann die Teilergebnisse zu synthetisieren. Zweifelsohne sind mit Partialanalysen z.B. anhand verschiedener energetischer und exergetischer Wirkungsgrade, Zuverlässigkeits- und Risikokoeffizienten, Besetzungsintensitäten, Emissionskoeffizienten, Auslastungsgrade und dgl. begründete und transparente Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge nachweisbar. Aber an einer Zusammenfassung zu einem integralen Bewertungsausdruck, die ebenso objektiv und nachvollziehbar sein sollte, mangelt es bis jetzt. Deshalb herrschen vielmals in der Praxis Teilbewertungen vor, vornehmlich technisch-technologischer bzw. energetischer Art.

Ein Ansatz zur Überwindung dieser Unzulänglichkeit könnte eine *durchgehende ökonomische* Bewertung sein, d.h. eine umfassende Widerspiegelung der Wirksamkeit der einzelnen Teilkriterien in einem vergleichbaren Geldausdruck. Das stellt den Versuch dar, die Auswirkungen technisch-technologischer und anderer nicht wertmäßiger Indikatoren auf die Kosten und Ergebnisse (über die wertmäßige Vergleichbarkeit) miteinander zu verknüpfen.

Das impliziert grundlegende Vorteile, aber auch Schwächen. So können beispielsweise divergierende Aussagen, wie etwa steigende Zuverlässigkeit und sinkende Kapazitätsauslastung aufgrund des Redundanzprinzips großer energetischer Systeme, zusammengeführt werden. Gleichwohl bleiben aber beispielsweise noch Bewertungsmomente außerhalb der Vergleichbarkeit und Integration, weil sie nicht quantifizierbar und zusätzlich nicht monetarisierbar sind.

Die ökonomische Bewertung versteht sich als ein Schritt in Richtung ganzheitlicher Betrachtungen. In diesem Sinn konkurriert sie mit anderen Verfahren, die diesem Ziel dienen, etwa mit den Möglichkeiten zur Berechnung des kumulativen Energieverbrauchs (durch Prozeßketten- und Input-Output-Analysen).

Daraus ergibt sich für die ökonomische Bewertung die Aufgabe, auf der Kosten- und Nutzensseite schrittweise immer mehr und besser die wirkenden Einflußfaktoren zu identifizieren, zu quantifizieren und zu monetarisieren. Der restliche, nur qualitativ zu beschreibende Einflußanteil sollte sukzessiv vermindert werden. Dieses Vorgehen

setzt voraus, das Betrachtungsfeld, den sog. Bilanzkreis, nicht bewußt zu verengen und zunehmend Externalitäten einzubeziehen

Allein schon auf der Ebene der Unternehmungen kommt es in der Praxis zu Verengungen und Verzerrungen in der Bewertung, wenn z.B. nur betrachtet werden:

- die verschiedenen Brennstoffkosten, ohne die zwischen den energetischen Systemen ebenfalls differierenden Personal-, Anlagen- und sonstigen Kosten bzw.
- die Energiebezugskosten ohne die innerbetrieblichen Speicher-, Umform- und anderen Kosten, welche dann global als Gemeinkosten erscheinen bzw.
- die Energieträger nur als Energieverbrauch und nicht auch ggf. als Rohstoffverbrauch.

Außerdem entstehen sie überbetrieblich, wenn die Preise für die Vor- und Folgeprozesse verzerrt sind, z.B. die Kosten für die Brennstoffbeschaffung, Abfallentsorgung und andere Externalitäten nicht vollständig erfassen.

Zu den Externalitäten

Gerade die energetischen Systeme zeichnen sich aufgrund ihrer Größe und Komplexität dadurch aus, daß sie bei der Planung, Errichtung, Betreibung und Außerkraftsetzung umfangreiche externe Kosten und Effekte verursachen. Unter externen Kosten bzw. Effekten werden jene Kosten und Effekte subsumiert, die nicht in der einzelwirtschaftlichen Rechnung der Unternehmen und privaten Haushalte erscheinen und auf unbeteiligte Dritte abgewälzt (externalisiert) werden. Sie reflektieren sich nicht in den geltenden Energiepreisen. Die Allgemeinheit, insbesondere der Staat, trägt sie und subventioniert sie freiwillig oder unfreiwillig.

Spätestens seit Pigou (Anfang der 20er Jahre) sind die Externalitäten in der Literatur bekannt. In Deutschland werden sie im letzten Jahrzehnt hauptsächlich im Zusammenhang mit den ökologischen Folgekosten diskutiert. Über die externen Effekte der Energieversorgung liegen eine Reihe von Untersuchungen vor, namentlich von O. Hohmeyer aus dem ISI Karlsruhe, einer Arbeitsgruppe von A. Voß von der Universität Stuttgart sowie die mehrbändige prognos-Studie von 1993 für das Bundeswirtschaftsministerium.

Aus den bisherigen Arbeiten können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- a) Externe Effekte bzw. Kosten der Energieversorgung fallen hauptsächlich im Umwelt-, Klima- und Gesundheitsbereich an. Außerdem sind sie mit der intertemporalen Verteilungsgerechtigkeit der Ressourcennutzung, mit makroökonomischen Entwicklungsindikatoren sowie mit öffentlichen Dienstleistungen und Finanzierungen verbunden.
- Im einzelnen gehören zur *ersten* Gruppe insbesondere die emissionsbedingten Schäden bei Maschinen und Anlagen sowie Bauten (ca. 10 Mrd. DM/a) und des Waldes (ca. 0,5 bis 9,0 Mrd. DM/a in Abhängigkeit von der Breite der berücksichtigten Folgen) sowie der menschlichen Gesundheit (ca. 1,5 Mrd. DM/a für Arbeitsausfälle). [2] Besonders weit auseinander gehen naturgemäß die ersten Abschätzungen der Folgen der Weltklimaänderung.
 - Bei der *zweiten* Gruppe geht es darum, zwischen den Generationen eine gerechte Verteilung der erschöpfbaren Ressourcen zu erreichen. Um für spätere Generationen im gleichen energetischen Umfang z.B. den „Energiekapitalstock“ erhalten zu können, sind bestimmte Vorsorgeaufwendungen vonnöten. Diese externen Kosten müßten bereits jetzt laufend in besonderen Verbrauchsabgaben für erschöpfbare Ressourcen widerspiegelt werden.
 - *Drittens* sind die vielfältigen direkten und indirekten Subventionen der öffentlichen Hand im Energiebereich zu berücksichtigen. Sie konzentrieren sich sowohl auf die Forschung und Entwicklung, vor allem für die Kernenergie und für andere neue Technologien als auch auf die laufende Produktion, vgl. *Abbildung 2*.
- b) Obwohl der Erkenntnisstand nicht ausreicht, die Schäden und Risiken bzw. die Kosten zur Minderung und/oder zur Vermeidung der Schäden einheitlich zu identifizieren, zu quantifizieren und zu monetarisieren, setzt sich wissenschaftlich die Auffassung durch, daß die Externalitäten einen außerordentlich hohen Stellenwert einnehmen können. Grundlegend gefährden z.B. energetische Prozesse das Weltklima, namentlich durch die Freisetzung solcher Spurengase wie CO₂ und CH₄. Erhebliche Unsicherheiten gehen außerdem von toxischen Verbindungen der Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe als Nebenprodukte energetischer Prozesse aus.

Über die Höhe externer Kosten bzw. Effekte sowie über anwendbare Methodiken ihrer Abschätzung läßt sich durchaus noch streiten. Anschaulich belegen das insbesondere die kontroversen Diskussionen zu Anfang der 90er Jahre, ausgelöst durch die Veröffentlichung von Hohmeyer. Die zusammenfassende prognos-Studie scheint eine gewisse Beruhigung gebracht zu haben. Dazu trägt sicherlich bei, daß sie erstmalig die Vielschichtigkeit des Problems und die Relativität sowie gesellschaftspolitische Abhängigkeit der Lösungsansätze herausgestellt hat.

* Energetische Wirkungsgrade (z.B. thermische oder exergetische)	
* Energetische Amortisationszeiten bzw. Erntefaktoren	
* Betriebszuverlässigkeit (z.B. technische oder wirtschaftliche Risiken)	
* Versorgungssicherheit (z.B. nationale oder EU-weite)	
* Gesellschaftliche Akzeptanz und ethische Verantwortung	
* Externe Effekte	
=> Subventionen für z.B.	Forschung und Entwicklung Investitionen Brennstoffeinsatz Entsorgung
=> Emissionsschäden für z.B.	Materialien Menschen sonst, natürliche Umwelt Weltklima
=> Reaktor-Unfallschäden	
=> Ressourcenfehlallokationen	
=> Makroökonomische Wirkungen (z.B. Arbeitsplatzbeschaffung)	
* Kosten-Nutzen-Relation	
=> Kapitalgeb. Kosten	=> Erlöse aus Hauptprodukten
=> Verbrauchsgeb. Kosten	(z.B. thermische, elektrische und mechanische Leistung)
=> Betriebsgeb. Kosten	
=> Sonstige Kosten	=> Erlöse aus Nebenprodukten (z.B. Gips, Asche, Schwefelsäure)

Abbildung 2: Ausgewählte Bewertungsaspekte

- c) Soll die ökonomische Bewertung verschiedener Systemlösungen und Ausführungsvarianten der Energieversorgung unter Einschluß externer Kosten- und Nutzungskomponenten erfolgen, so entstehen nur dann verzerrungsfreie Aussagen, wenn *durchgehend alle* Vergleichsobjekte so erfaßt werden. Es leuchtet ein, daß sich dadurch generell die Energiebereitstellungskosten absolut erhöhen. Offen bleibt aber, ob sich im einzelnen die relative Vorteilhaftigkeit ändert oder nicht.

Letztendlich wird die Berücksichtigung der Externalitäten in der ökonomischen Bewertung erst dann interessant, wenn sich die *Rangfolge* verschiebt.

Um das transparent zu machen, reicht die Abschätzung von Größenordnungen. Für vier vergleichbare Stromerzeugungssysteme (Kohle- und Kernkraft- sowie Wind- und Photovoltaikanlagen) liegen hierfür Untersuchungen vor, Zwar stützen sie sich auf 88/89er Werte, aber spätere Präzisierungen haben die hier interessierende Grundaussage nicht in Frage gestellt. Nach O. Hohmeyer verteuern sich durch Einbeziehung externer Kosten die konventionellen Elektrizitätserzeugungen am meisten und verschieben die Präferenz zugunsten der Windenergie und der Photovoltaik (später nach dem Jahre 2000). [3]

Nach der Einschätzung der Arbeitsgruppe um A. Voß ändert sich „die Rangfolge der Wirtschaftlichkeit derzeit und bis zur Jahrtausendwende nicht.“ [4] Vereinfachend kommt sie zu nachstehenden Größenordnungen der externen Kosten, vgl. *Tabelle 1*.

Dabei sind neue Erkenntnisse, wie z.B. die Klimaschäden und die Kosten für back-up-Anlagen noch nicht berücksichtigt. Dessen ungeachtet, führt sie zu der Grundaussage, daß die konventionellen Stromerzeugungen am intensivsten mit Externalitäten verbunden sind. Das hat Hohmeyer ebenso belegt, wobei er die Steinkohle- und Kernenergieanlagen merklich stärker belastet.

Tabelle 1: Ausgewählte externe Kosten der Stromerzeugung nach [5], S. 19
- Ca-Werte in Pf/kWh für 1988 -

Kostenkomplex	Steinkohlenanlagen	Kernenergieanlagen	Windanlagen	Photovoltaikanlagen
* Subventionen für				
- Produktion	0,58	0,03	-	-
- Forschung und Entwicklung	0,06	0,45	0,34	1,25
* Emmissionsschäden für				
- Gesundheit	0,18	0,06	0,05	0,08
- Wald, Materialien und Sonstiges	0,30	-	-	-
* Betriebsunfälle	-	0,07	-	-
* Addierte externe Kosten	1,12	0,61	0,40	1,34
* Größenordnung für den Ca-Anteil der externen an den internen Kosten	10%	10%	2 %	1%

Zur Internalisierung

Wirksam werden die externen Kosten und Effekte im Entscheidungsprozeß am besten dann, wenn sie bereits auf der Ebene der Unternehmen und Haushalte zwangsläufig im Bewertungs- und Entscheidungsalgorithmus integriert sind. Das bedeutet die Internalisierung, d.h. die negativen und positiven Effekte den Verursachern unmittelbar zuzuordnen und nicht mehr auf Dritte abzuwälzen. Dadurch brauchen sie bei den einzelnen internen Wirtschaftlichkeitsanalysen nicht mehr zusätzlich betrachtet werden, was naturgemäß Uneinheitlichkeiten einschließt.

Relativ naheliegend und einfach ist die Lösung, die verschiedenen direkten und indirekten Subventionen, Steuererleichterungen und Preisverzerrungen der Vorstufen in den Energiepreisen zu berücksichtigen. Weitaus schwieriger gestaltet es sich, die ökologischen Folgekosten zu internalisieren.

Offensichtlich gibt es für die Internalisierung mehrere Möglichkeiten, insbesondere ökonomische sowie haftungs- und ordnungsrechtliche. So gehören beispielsweise Auflagen, Gebote und Verbote zum Ordnungsrecht. Die Gefährdungshaftung bei nicht bestimmungsgemäßem Betrieb energetischer Anlagen sieht das Umweltschutzgesetz vor. In diesen Fällen wird die Berücksichtigung externer Effekte durch die Gesetzgebung erzwungen. Die ökonomische Internalisierungsstrategie zielt darauf ab, die externen Kosten direkt *preiswirksam* zu machen. Benutzergebühren, Abgaben, Steuern, handelbare Emissionslizenzen u.ä. Instrumente können hierzu beitragen.

In diesem Kontext verstehen sich beispielsweise die Diskussionen um die Einführung einer Energieverbrauchs- und CO₂-Steuer, einer Ascheabfallabgabe sowie von Emissionszertifikaten als konkrete Lösungsschritte. Sie bezwecken, als Vorstufen einer ökologischen Steuerreform im Sinne von E. U. Weizsäcker „ökologisch wahre Energiepreise“ schrittweise einzuführen, vorher rechtzeitig und längerfristig bekannt zu geben sowie weitgehend sozial verträglich auszugestalten. [5]

Hier ist nicht der Platz, die ökologische Treffsicherheit und ökonomische Effizienz der einzelnen Lösungswege zu analysieren. Wesentlich für die ökonomische Bewertung von Energiesystemen bleibt der Umstand, daß die Energiepreise differenziert erhöht werden und tendenziell die externen Kosten einschließen. Tendenziell kann

das nur erfolgen, weil die Schadens- und Vermeidungskosten nicht genau zu berechnen sind, vgl. *Tabelle 2*.

Tabelle 2: Veränderung der Preisrelation bei Einführung einer Energieverbrauchs- und CO₂-Steuer

	Preisrelation gegenüber Braunkohle		
	gegenwärtig	im Jahre 2000	
		bei Energieverbrauchssteuer	bei Energieverbrauchs- und CO ₂ -Steuer
Braunkohle	= 1,00	= 1,00	= 1,00
Imp. Steinkohle	1,13	1,06	1,00
Öl	2,13	1,56	1,38
Erdgas	2,19	1,59	1,36

Die angegebenen Veränderungen in der Bewertung von Energieträgern entstehen, wenn der EG-Vorschlag (Preisaufschlag von 82,— DM/t SKE im Jahre 2000) auf die ostdeutsche Energieversorgung angewendet wird. Dadurch verteuern sich die Kohlen (um etwa 100 %) und das Erdgas wird besonders vorteilhaft. Sein Preis steigt noch nicht einmal um 50 %. [6]

Im „trial-and-error-Prozeß“ kann sich in der schrittweisen Erhöhung der Energiepreise diejenige Reizschwelle herausbilden, die einerseits zu tatsächlichen Verhaltensänderungen der Energieerzeuger und -Verbraucher führt sowie andererseits den Großteil der externen Kosten erfaßt. Dabei entspricht ein solches Vorgehen durchaus den marktwirtschaftlichen Anforderungen. Es versucht, das Marktversagen zu überwinden.

Dadurch, daß die Preise für alle Energieformen jährlich nicht gleichmäßig, sondern differenziert verteuert werden, ergeben sich sukzessive neue Preisrelationen. Tendenziell profitieren davon Erzeugung und Verbrauch regenerativer Energien. Während nämlich z.B. nach dem Vorschlag von E. U. Weizsäcker fossile Brenn- und Treibstoffe jährlich um 5 % teurer werden, ist für Solar-, Wind-, Biogas- und kleine Wasserkraftanlagen keine Besteuerung bzw. Preiserhöhung vorgesehen. Allein dadurch führt die Internalisierung externer Kosten bei der ökonomischen Bewertung energetischer Systeme zu neuen Ergebnissen. Hinzu kommen weitere Wirkungen bei anderen, sich verteuernenden Naturressourcen. Sie verändern letztendlich über den kumulierten Energieverbrauch ebenfalls die Effizienzen.

Zu den gesellschaftlichen Gesamtkosten

Eine ausgewogene Bewertung, die bei konkurrierenden Energiesystemen bzw. Energieträgern tendenziell weder zur Benachteiligung noch Bevorzugung führt, verlangt daher, beim Kosten-Nutzen-Vergleich von den gesamten Kosten der Gesellschaft, d.h. von den internen zuzüglich externen Kosten auszugehen. Dann entwickelt sich die bisher vorherrschende betriebswirtschaftliche (individuelle, private) Bewertung zu einer übergeordneten gesellschaftlichen (sozialen) Bewertung weiter. Im Maße der praktischen Einbeziehung externer Effekte (beispielsweise durch Realisierung des nach- und vorsorgenden Emissionsschutzes) bildet sie sich heraus. [7] Dabei genügt es, nur die Kostenseite im Blick zu haben, da sich in der Regel positiver Nutzen durch negative Kosten gleichsetzen läßt, vgl. *Abbildung 3*.

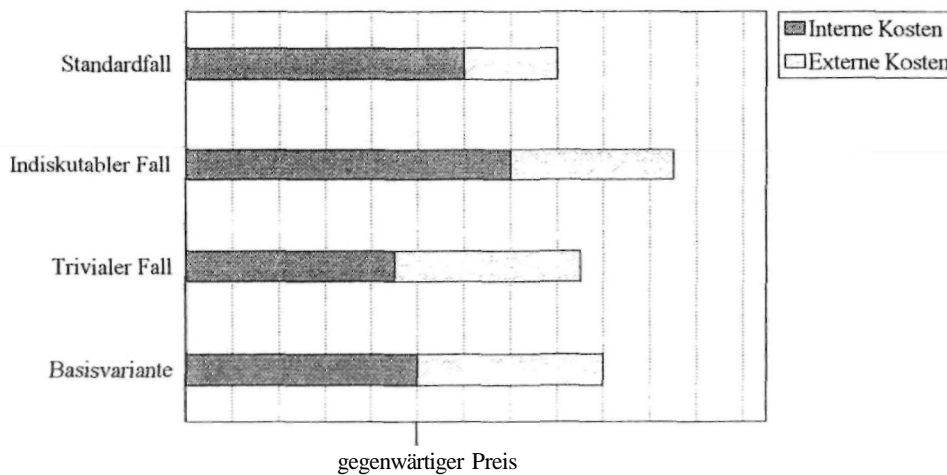


Abbildung 3: Kostenkonstellationen bei Alternativlösungen

Praktisch ergibt sich die größte Inkonkurrenz zwischen individueller und gesellschaftlicher Bewertung für folgende alternative Kostenkonstellation:

Die internen (bezahlten) Kosten liegen gegenüber der Basisvariante höher und sind nicht mehr durch das gegenwärtige Preis- bzw. Erlösniveau gedeckt. Aus individueller Sicht (der Unternehmen oder privaten Haushalte) bedeutet das eine geringere Effizienz und spricht nicht für die Realisierung. Dennoch kann die Lösung gesellschaft-

lich vorteilhaft sein. Notwendig ist hierfür, daß die saldierten externen (positiven und negativen) Kosten den bezahlten Mehrverbrauch zumindest kompensieren, daß die Gesamtkosten fallen.

Dabei ist zunächst unerheblich, um welche Formen der Alternativlösungen es sich handelt, ob die Substitution des Energieträgers oder die Modernisierung der Energieanlagen oder die Einführung neuer Umwandlungstechnologien oder andere Maßnahmen zur Energieeinsparung in Frage kommen. Auf die Wirtschaftlichkeit hat es auch keinen Einfluß, ob die Kosten nun hauptsächlich laufenden Aufwand oder einmaligen Fondsvorschuß bedeuten. Im Entscheidungsprozeß für oder gegen eine Alternativlösung kann das allerdings von Bedeutung sein. So verzögert oder verhindert beispielsweise bei finanzschwachen Unternehmen (kommunaler Art, kleiner und mittlerer Größe) sowie privaten Haushalten ein hoher Investitionsaufwand die betriebswirtschaftlich durchaus effizienten Umstellungen.

Trivial ist die Entscheidungssituation, bei der gegenüber der Basisvariante sowohl die internen als auch externen Kosten niedriger sind. Dann liegen auch die gesellschaftlichen Gesamtkosten unter dem vorgegebenen Gesamtniveau und die internen Kosten werden durch das gegenwärtige Preis- bzw. Erlösniveau abgedeckt. Diese Lösung wäre im individuellen und gesellschaftlichen Interesse die günstigste und daher vorzugsweise zu realisieren. Sie ist konkurrenzlos.

Indiskutabel aus wirtschaftlichen Gründen erscheint schließlich der Fall, daß die Gesamtkosten und jeweils auch die internen sowie externen Bestandteile höher liegen. Eine solche Alternative macht nur Sinn, wenn andere Aspekte hierüber entscheiden, beispielsweise die Versorgungssicherheit oder die Absicherung eines langfristigen Marktzutritts.

Die Abwärme als Beispiel

Die bisher diskutierten Probleme und Aufgaben der ökonomischen Bewertung erlangen für das Beispiel der Abwärme eine besondere Bedeutung, wie folgende Gesichtspunkte belegen.

- a) Abwärme entsteht in großer Menge, allerdings vielfach mit geringem Energiepotential. Sie fällt namentlich dort an, wo höherwertige Wärme verbraucht wird. So machen die Raumwärme einen Anteil von etwa 31 % und die Prozeßwärme von

etwa 28 %, d.h. der gesamte Wärmeverbrauch von ca. 59 % am Endenergieverbrauch aus. Unter Einschluß der Abwärme aus mechanischen Prozessen entfällt dadurch etwa die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs auf sie. Somit repräsentiert das Beispiel eine außerordentlich breite Anwendung.

- b) Die gegenwärtige Energiebereitstellung impliziert noch ein umfangreiches latentes Wärmenutzungspotential. Deshalb kommen für die Verbesserung energetischer Wirkungsgrade hauptsächlich die Auskopplung von Wärme in KWK-Anlagen, die weitere Verwertung der Abwärme aus Kondensationskraftwerken sowie die Aufwertung niedriger Abwärme mittels Wärmepumpen in Frage.
- c) Die Bereitstellung von Wärme (in Heizwerken) ist in der Regel energetisch nicht sehr wirksam, aber mit erheblichen externen Kosten verbunden. Bis heute ist sie vordergründig ein Produkt der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Das initiiert bekannte ökologische Folgekosten, insbesondere Emissionsschäden (durch Luftschadstoffe) sowie intertemporale Fehlallokationen erschöpfbarer Ressourcen. Außerdem fällt Wärme in Heizkraftwerken als Kuppelprodukt in erheblicher Menge an. Auch hier belasten sowohl die direkten Kosten der Verbrennung als auch ihre externen Kosten die Wärme. Letztere treten allerdings in der praktischen Kostenrechnung noch nicht ausreichend in Erscheinung. Eine gesamtwirtschaftliche Sicht darf sie aber auch bei der Kuppelproduktion nicht vergessen, obwohl sie sich in dem Maße relativieren bzw. reduzieren, wie der Anteil nicht genutzter Abwärme sinkt. Umgekehrt bedeutet das zugleich: Obwohl sich die Luftschadstoffe in der Abwärme der Rauchgase konzentrieren, dürfen sie nicht nur dem Kuppelprodukt Wärme zugeordnet werden.
- d) Nicht zuletzt wird darauf verwiesen, daß gerade bei der Abwärme eine Rückkopplung von externen Kosten auf die laufenden Betriebskosten entstehen kann. Anschaulich verdeutlichen das z.B. in diesem heißen Sommer Berliner Kraftwerke, die ihre Stromerzeugung vorübergehend reduzieren mußten, weil die aufgeheizte Spree nicht mehr das heiße Kühlwasser aufnehmen konnte.

Diese vier Gesichtspunkte zeigen, welchem Stellenwert eine durchgängige Bewertung der Abwärme zukommt, nicht nur für höherwertige *Restwärme*. In der energiewirtschaftlichen Praxis bestehen allerdings auf diesem Gebiet noch Unzulänglichkeiten. In den meisten Fällen rechnet sich eine Abwärmennutzung gegenwärtig nicht. Offensichtlich werden die „Konkurrenzenergien“ noch nicht mit ihren externen Kosten belastet. Allerdings ist selbst die Abwärme heutzutage unterbewertet, indem

z.B. die Kosten für die notwendige Abkühlung fehlen. Mitunter wird ihr kein Wert und Preis beigemessen. Dem liegt die Erfahrung zugrunde, daß die innere Energie nicht voll ausgenutzt wird. Aber muß daß sein?

Seit Jahren hat die Energiepolitik diese Schwachstellen erkannt. Sie versucht, mit verschiedenen Mitteln eine Verbesserung herbeizuführen. Dem dienen die Heizungsanlagen-VO (z.B. Begrenzung der Austrittstemperatur), die Wärmeschutz-VO (z.B. Wärmerückgewinnung) und der Entwurf der Wärmenutzungs-VO (z.B. örtliche Abstufung der Weiterverwendung). Insbesondere wird die Industrie in die Pflicht genommen. Nicht nur dadurch ist allerdings die Wirkungssphäre von vornherein begrenzt. In der Regel beginnt die Umsetzungspflicht nämlich erst dann, wenn sich die Maßnahmen betriebswirtschaftlich rechnen. Das bedeutet, daß die volkswirtschaftliche Bewertung und damit die externen Effekte keine Rolle spielen. Dadurch wird das technisch-ökonomische Potential besserer Wärmenutzung zu gering ausgewiesen.

Die unbefriedigende Situation in der Bewertung von Abwärme mit relativ niedriger Temperatur scheint zumindest durch zwei Gründe gestützt zu werden. Erstens wird vermutet, daß aufgrund der faktischen Monopolstellung der Elektrizitätserzeugung die anteiligen Kosten die Wärme bereits in den Stromkosten und -preisen verrechnet werden können. Zweitens ist die Abwärbewertung, auch nach exergetischen Verfahren schwierig vorzunehmen, zumal die Höhe des Marktpreises dem Anlegbarkeitsprinzip genügen muß. Aufgrund des ausgeprägten Substitutionswettbewerbs auf dem Wärmemarkt durch die Gas-, Öl- und anderen Anbieter hat sich nämlich ein relativ niedriges Preisniveau herausgebildet. Das verleitet die Erzeuger dazu, obwohl sie sowohl interne als auch externe Kosten hervorrufen, vielfach die Abwärme nicht zwingend im möglichen Umfang zu nutzen, abgesehen von dem gegenwärtig noch bestehenden technischen Begrenzungen.

Demnach liegt die These nahe, daß eine verursachungsgerechte Kostenbelastung die weitere Erschließung und Nutzung von Abwärmepotentialen, vor allem bei entsprechender Menge und Dichte, ökonomisch lohnender und zwingender machen könnte. Um in dieser Richtung die noch unzureichende Bewertungsmethodologie voranzubringen, scheinen zielstrebige Untersuchungen unerlässlich. Wäre nicht auch für eine verstärkte Abwärmenutzung ein Bonus für vermiedene Umweltschäden hilfreich? Diese Kostengutschrift könnte für die Nutzer ökonomische Anreize schaffen und ggf. andere staatliche Hilfen, wie z.B. Investitionszulagen und -Zuschüsse, ergänzen bzw. ersetzen.

Die Kraft-Wärme-Kopplung als Beispiel

Auf die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) kurz einzugehen, ist aus der Bewertungssicht besonders lohnenswert. Denn sie versteht sich für die industrielle Energieerzeugung vermutlich als Hauptmethode, von vornherein den Anfall von Abwärme zu mindern und die Verluste zu senken, um dadurch die energetischen und exergetischen Wirkungsgrade zu erhöhen.

Bekanntlich kann die Abwärme dort weitgehend genutzt werden, wo im Umfeld eine ausreichende und möglichst kontinuierliche Nachfrage besteht. Deshalb kommen z.B. städtische Ballungsgebiete in eine Vorrangstellung. Hierfür bietet sich eine dezentrale Energieversorgung an, wie beispielsweise Stadtwerke mit einer Kraft-Wärme-Kopplung.

- Die Wirtschaftlichkeit dieser verlustreduzierten, überdurchschnittlich effizienten Energieerzeugung ist nun maßgeblich von der Preisrelation Strom zu Brennstoff abhängig. Billige Brennstoffe, wie etwa gegenwärtig das Erdgas, sind durchweg vorteilhaft.
- Ökonomisch rechnet sich außerdem die Wärmeauskopplung um so besser, auch bei gasgefeuerten Heizkraftwerken, je höher die Vergütung für die mögliche Stromeinspeisung in die vorhandenen Mittel- und Niederspannungsnetze (der Regionalversorger) ausfällt. Deshalb sind die anhaltenden Diskussionen um die Einspeisevergütung dieser Art praktisch so bedeutsam. Zweifellos verbessert die Novellierung der Verbänderegelung vom September 1994 die bisherige Vergütung (schätzungsweise bis zu 15 %). Dennoch bleiben andere geltende Regelungen attraktiver.
- Käme eine Vergütung in gleicher Höhe wie bei der Einspeisung des Stroms aus regenerativen Energiequellen zum Tragen, wie es manche Bundesländer befürworten, so würde das die verstärkte Abwärmenutzung und Verlustreduzierung ökonomisch stimulieren. Demnach könnte die mögliche Vergütung zwischen 65 und 90 % des durchschnittlichen Stromerlöses des Energieversorgers liegen. Das entspricht etwa das 1,4fache der Verbänderegelung.
- Eine ähnliche positive Wirkung auf eine rationelle Energieverwendung kommt zustande, wenn der Preis für die Kilowattstunde sukzessiv immer mehr externe

Stromerzeugungskosten einschließt. Das ist bis jetzt noch auf einige Nachrüstkosten, namentlich für die Staub- und SO₂-Minderung beschränkt. Außerdem existieren in den neuen Bundesländern noch bis Mitte 1996 Ausnahmeregelungen. Somit orientiert sich die Stromgutschrift bei der Kraft-Wärme-Kopplung praktisch nur auf interne, d.h. auf zu niedrige Bereitstellungskosten. Das gereicht nicht nur Stadtwerken, sondern auch industriellen Eigenerzeugern mit Wärmeauskopplung zum Nachteil, wobei letztere in Deutschland in der Entwicklung ohnehin weit hinter den ursprünglichen Erwartungen zurück bleiben. So liegt die tatsächliche Nutzung etwa erst bei der Hälfte des technisch-wirtschaftlichen Potentials.

- Zugleich widerspiegelt dieser praktische Fall, mit welchen vielfältigen Implikationen eine ökonomische Bewertung unter Einschluß externer Effekte verbunden sein kann. Selbst der *institutionelle* Strukturwandel in der Energieversorgung, hier in Richtung der Dezentralisierung, unterliegt solchen Einflüssen.

Resümee

Unter besonderer Berücksichtigung der externen Effekte läßt sich zum Kenntnisstand über die ökonomische Bewertung energetischer Systeme folgendes Resümee ziehen.

- a) Mit der schrittweisen Einbeziehung externer Kosten und Effekte in den Bewertungs- und Entscheidungsalgorithmus wird der Übergang von der einzel- zur gesamtwirtschaftlichen Beurteilung eingeleitet. Damit kann den komplexen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen in der Realität besser entsprochen werden.

Erstens erhöht bereits die Berücksichtigung verschiedener Subventionen, Steuererleichterungen und anderer finanziellen Hilfen die Aussagekraft im ökonomischen Vergleich alternativer Lösungen. Da die Unterstützungen in unterschiedlichen Maßen und Formen gewährleistet werden, auch für die vor- und nachgelagerten Prozeßstufen, sind sie nicht einfach zu überblicken und in ihren Wirkungen zu pauschalisieren. Hierfür müssen wissenschaftliche Grundlagen sowie systematische und differenzierte Methoden entwickelt, erprobt und angewendet werden.

Zweitens kommt es darauf an, möglichst umfassend Klima-, Umwelt- und Gesundheitsfolgen sowie Fehlnutzungen erschöpfbarer Ressourcen zu identifizieren,

zu monetarisieren und zu internalisieren. Die Tatsache, daß einige ökologische, vor allem längerfristige Folgen erst mit wachsender Erkenntnis und Entwicklung wahrgenommen bzw. identifiziert sowie andere Effekte nur qualitativ beschrieben werden können, darf nicht dazu verleiten, diese Wirkungen generell zu unterschätzen. Bei gravierenden irreversiblen Schäden, etwa im Zusammenhang mit der Klimabeeinflussung, können nämlich relevante Umbewertungen von Energieträgern, Energietechnologien und -anlagen zu Überraschungen führen.

Zugleich deutet die CO₂-Problematik an, daß aufgrund supranationaler und globaler Wirkungen die Berücksichtigung bestimmter Effekte auch von außen angestoßen und durchgesetzt werden kann. Allein die ökonomische Bewertung der CO₂-Schäden drängt zum grundlegenden energetischen Strukturwandel, in Richtung verstärkter Energieeinsparung und regenerativer Energiequellen. Die Betreiber energetischer Systeme sind nicht zuletzt deshalb gut beraten, bereits jetzt an Lösungen zu arbeiten, die späteren, evtl. unfreiwilligen Handlungszwängen zuvor kommen.

Drittens scheint sich abzuzeichnen, daß die Auswirkungen energetischer Systeme und Prozesse auf solche makroökonomischen Indikatoren wie die Beschäftigung und den Arbeitsplatzverlust eine zunehmende Bedeutung erlangen. Bei konsequenter Umweltpolitik trifft das nicht nur auf Ostdeutschland zu. Angesichts der längerfristigen Unterbeschäftigung und hohen Arbeitslosigkeit drängt sich die Frage auf, ob und wie sich die gesellschaftlichen Bewertungsmaßstäbe und Einstellungen zu technischen bzw. energetischen Innovationen weiterentwickeln. Könnte das Ergebnis nicht z.B. dazuführen, den gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungseffekt als eine der Komponenten des ökonomischen Nutzens aufzuwerten? Müßten nicht zugleich arbeitsmarktpolitische Begleitungen miterforscht werden?

- b) Um die angesprochenen Unzulänglichkeiten bei der Bewertung und Entscheidung energetischer Systeme schrittweise zu überwinden, wird eine Aktivierung der gezielten wissenschaftlichen Forschung auf diesem Gebiet für unerlässlich gehalten. Angesichts der Vielschichtigkeit und Verflechtung der hierbei zu berücksichtigenden Zielstellungen und Einflußfaktoren kann hierfür nur eine interdisziplinäre Arbeit in Frage kommen.

Sie ist zwar mit finanziellem und zeitlichem Aufwand verbunden, könnte aber a priori dazu beitragen, ineffizienten Energieverbrauch, Fehlallokationen begrenzter Ressourcen sowie überhöhte Umwelt- und Klimabelastungen zu vermeiden. Zu-

dem reduziert jeder Erkenntnisfortschritt in der Bewertungsmethodologie den in der Wirtschaftspraxis noch vorhandenen, nicht unbedeutenden Anteil verbaler bzw. intuitiver Bewertungen, die kaum systematisch, transparent und objektiv sind.

Literatur

- [1] Pigou, A.C.: The Economics of Weifare, London, Macmillan, 4. Auflage (1932); Hohmeyer, O.: Soziale Kosten des Energieverbrauchs, Springer-Verlag (1989); Voß, A. et al: Externe Kosten der Stromerzeugung, VWEW-Verlag (1990); prognos: Identifizierung und Internalisierung der externen Kosten der Energieversorgung, Schäffer-Poeschel-Verlag (1993).
- [2] Masuhr, K: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 43 (1993), Düsseldorf, Nr. 3, S. 142 ff
- [3] Hohmeyer, O: a.a.O., S. 21.
- [4] Voß, A. et al: a.a.O., S. 24.
- [5] Weizsäcker, E. U.: Erdpolitik. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 4. Auflage (1994), S. 143 ff.
- [6] Weisheimer, M.: Stellungnahme für den Finanzausschuß bei Deutschen Bundestag (1993)
- [7] Pfaffenberger, W.: Energieanwendung, Energie- und Uniweittechnik 43 (1994), Nr. 9, S. 345 ff.