



EUtech

Energie + Umwelt
Technik + Management

Innovative Energietechnologien und -systeme

- Industrieprozesse (Energieeinsparung, neue Technologien) -

Stellungnahme an die Enquete-Kommission

“Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen
der Globalisierung und der Liberalisierung”

Martin Kruska, EUtech GbR

(kruska@eutech.de)

Aachen, November 2001

Inhalt

Überblick	2
Einleitung	3
Energieeffizienz in der deutschen Industrie – Status Quo	3
Globale Betrachtungen.....	3
Beurteilung im Vergleich zum Stand der Technik	4
Effizienzevolution vs. Effizienzrevolution	6
Technische Entwicklungen und Innovationen	8
Effizienzentwicklungen im Rückblick	8
Potenziale und branchenspezifische Entwicklungen.....	10
Branchenunabhängige Technikfelder	13
Nutzung erneuerbarer Energiequellen in der Industrie	15
Instrumente zur Förderung der Energieeffizienz	16
Förderung technologischer Entwicklungen.....	16
Zielgerichtete Anpassung der Forschungsförderung	17
Unterstützung der Um- und Nachrüstung von Anlagen.....	18
Unterstützung der System-, Anlagen- und Standortintegration	18
Umsetzungsförderung allgemeiner Effizienzmaßnahmen	19
Wirtschaftspolitische Instrumente.....	19
Literatur	21

Überblick

In der folgenden Tabelle wird auf die Abschnitte in diesem Text verwiesen, die sich auf die Fragen des Fragenkataloges der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ beziehen.

Nummer	Kurztitel	Abschnitt im Text
1	Weitere Technikbereiche	Branchenunabhängige Technikfelder
2	verfügbare Technologiebereiche zur Emissionsreduzierung	Potenziale und branchenspezifische Entwicklungen Branchenunabhängige Technikfelder Nutzung erneuerbarer Energiequellen in der Industrie
3	Verbesserungspotentiale von System-Innovationen	Beurteilung im Vergleich zum Stand der Technik Potenziale und branchenspezifische Entwicklungen Branchenunabhängige Technikfelder Nutzung erneuerbarer Energiequellen in der Industrie
4	Aufmerksamkeit der Forschung	Zielgerichtete Anpassung der Forschungsförderung
9	Technologische Entwicklungen	Potenziale und branchenspezifische Entwicklungen Branchenunabhängige Technikfelder Nutzung erneuerbarer Energiequellen in der Industrie
10	Rolle von Zukunftstechnologien	Potenziale und branchenspezifische Entwicklungen
11	Felder für staatliche Forschungsförderung	Potenziale und branchenspezifische Entwicklungen Branchenunabhängige Technikfelder Instrumente zur Förderung der Energieeffizienz
12	Erforderliche nicht technische Innovationen	Wirtschaftspolitische Instrumente
13	Planung neuer Industrie- und Gewerbegebiete	Unterstützung der System-, Anlagen- und Standortintegration

Einleitung

Diese Stellungnahme an die Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung" soll eine Einschätzung der Entwicklungstrends bzgl. der Energieeffizienz in der deutschen Industrie geben. Sie soll ferner Möglichkeiten aufzeigen, wie der spezifische Energiebedarf mittelfristig weiter signifikant gesenkt werden kann.

Obwohl der zugrundeliegende Fragenkatalog stark auf technische Entwicklungen und Innovationen abzielt, sollen durch den vorliegenden Bericht auch Denkanstöße gegeben werden, welche weiteren Mechanismen neben technologischen Entwicklungen wesentlich zu einer Reduzierung des industriellen Energiebedarfs beitragen können.

Zunächst wird ein kurzer Überblick über die Entwicklung der Energieeffizienz in der deutschen Industrie und den aktuellen Stand im Vergleich zu anderen Wirtschaftsräumen gegeben.

Anschließend wird anhand eines Beispiels eine kritische Bewertung der Energieeffizienz am Maßstab der heute verfügbaren und installierten Technik vorgenommen. Dies führt zu der Überlegung, mittels welcher Mechanismen die Energieeffizienz in der Industrie zunächst auch ohne weitreichende technische Innovationen erhöht werden kann.

Es folgt eine Einschätzung des Potenzials technischer Entwicklungen und Innovationen – sowohl anhand einer Rückschau als auch mit Blick auf zu erwartende Entwicklungen in den Schlüsselbranchen der deutschen Wirtschaft, und es werden unterstützungswürdige Weiterentwicklungen aufgeführt.

Schließlich werden unterschiedliche Instrumente aufgezeigt und erörtert, die mittelfristig eine signifikante Reduzierung des Energiebedarfs in der deutschen Industrie fördern können.

Energieeffizienz in der deutschen Industrie – Status Quo

Globale Betrachtungen

Die deutsche Industrie verweist nicht unbegründet immer wieder auf ihren hohen Effizienzstandard im internationalen Vergleich. Wird als Bezugsgröße die Gesamtproduktion gewählt, so liegt die Energieeffizienz der deutschen Industrie je nach Vergleichsmethodik leicht über oder leicht unter denen Frankreichs, Großbritanniens und Japans, und weit über den Werten Kanadas oder der USA (siehe auch [1], [2], [3]).

**Hohe Effizienz in
der deutschen
Industrie**

Sowohl der absolute als auch der auf den Nettoproduktionswert bezogene spezifische Energieeinsatz in der Industrie ist in den letzten Jahren stark rückläufig gewesen. So ist der spezifische industrielle Endenergieeinsatz (Strom und Brennstoffe kumuliert) zwischen 1950 und 1973 um 46 % zurückgegangen [4] und von 1970 bis 1991 betrug der Rückgang noch einmal 43 % (siehe **Abbildung 1**).

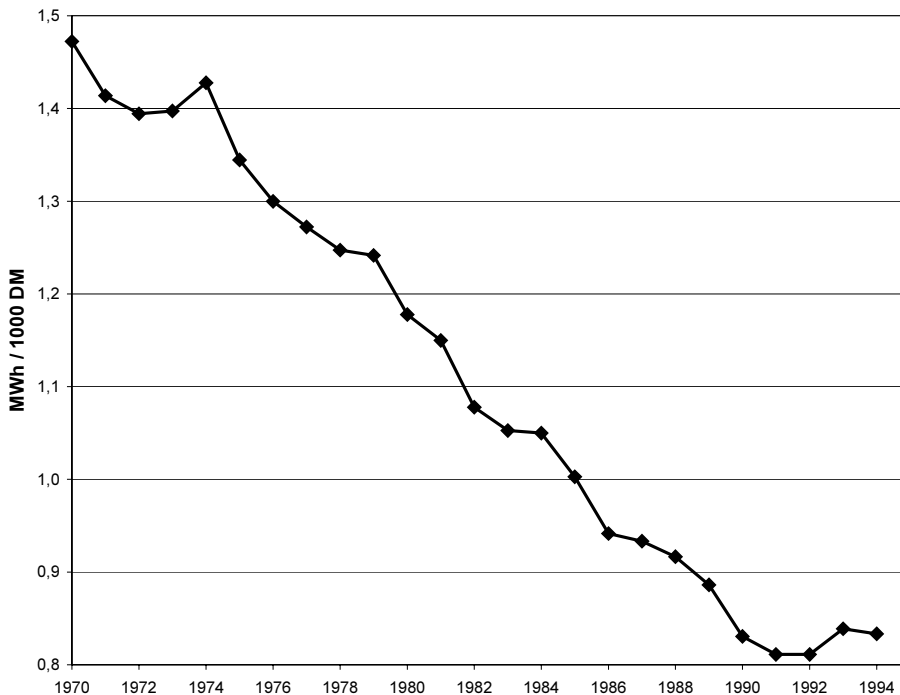


Abbildung 1: Entwicklung des spezifischen Endenergiebedarfs der deutschen Industrie von 1970 bis 1994 [5] (alte Bundesländer, Preise von 1985)

Bei steigendem Energiebedarf im Verkehrssektor und bei den Haushalten hat diese Entwicklung dazu geführt, dass im Vergleich der unterschiedlichen Wirtschaftssektoren untereinander der industrielle Anteil des Energiebedarfs von knapp 50 % in den Fünfzigerjahren auf heute etwa 27 % zurückgegangen ist. Unter anderem aus diesem Grunde wehrt sich die Industrie gegen die landläufige Darstellung des verarbeitenden Gewerbes als „Energieverschwender Nr. 1“ (siehe auch [6]).

Die Behauptung einiger Industrieverbände indes, sie befänden sich hinsichtlich der Effizienz ihres Energieeinsatzes am Rande des technisch Machbaren, ist sicherlich in der Gesamtbetrachtung unzutreffend und kann nur für ausgewählte Prozesse gelten.

Beurteilung im Vergleich zum Stand der Technik

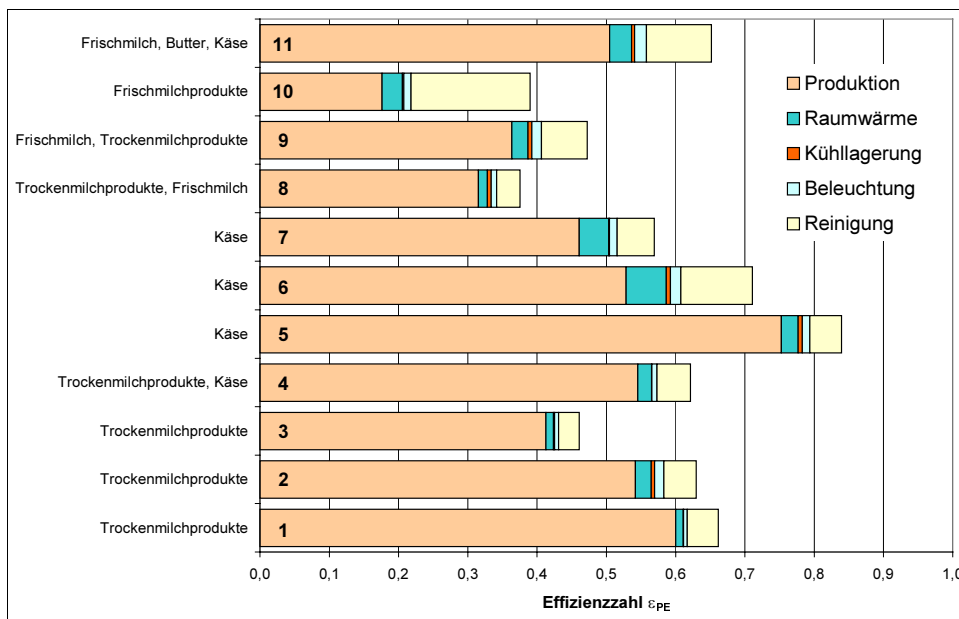
Ohne die bisherigen Errungenschaften abzuwerten kann festgestellt werden, dass die Effizienz der Energienutzung in allen Sektoren der

Rückgang des industriellen Anteils von 50 auf 27 %

Industrie noch weit unter dem bereits heute Möglichen liegt. Neben der Forderung nach neuen Entwicklungen und technischen Innovationen ist zu fragen, wieweit durch die Erschließung ungenutzter Potenziale die Energieeffizienz in der Industrie auch mit dem Status Quo der installierten Technik (bzw. durch Umrüstung auf den Stand der Technik) erhöht werden kann.

Erfahrungswerte lassen eine erreichbare Effizienzsteigerung in den meisten Betrieben des verarbeitenden Gewerbes zwischen 15 und 30 % realistisch erscheinen. Detaillierte Analysen zeigen sogar, dass höhere Steigerungsraten möglich sind.

So zeigt **Abbildung 2** beispielsweise die Effizienz der Primärenergie-nutzung in elf ausgewählten Standorten der Milch verarbeitenden Industrie in Deutschland. Die Effizienz wurde hier definiert als das Verhältnis des theoretisch erforderlichen Energiebedarfs (bei optimal geführtem Betrieb mit Anlagen auf dem Stand der Technik) zum tatsächlichen Energiebedarf des Betriebes. Die Verbrauchswerte wurden jeweils auf Primärenergie-Äquivalente umgerechnet und beziehen sich auf ein Jahr. Zusätzlich angegeben ist der jeweilige Produktionsschwerpunkt der Betriebe.



Beispiel Milch verarbeitende Industrie

Abbildung 2: Effizienz des Primärenergieeinsatzes von elf Standorten der Milch verarbeitenden Industrie [7]

Mit Effizienzzahlen zwischen etwa 0,4 und 0,8 benötigen diese Standorte demnach zwischen 25 und 150 % mehr Energie als vergleichbare theoretische „Musterbetriebe“ mit optimal abgestimmten Prozessketten und dem Stand der Technik entsprechender Versorgungstechnik (Wärme-, Kälte- und Druckluftversorgung) und Gebäudetechnik. Im

Umkehrschluss betragen die theoretischen Einsparpotenziale an diesen Standorten zwischen 20 und 60 %.

Die Schwachstellen in den betrachteten Betrieben liegen überwiegend in den folgenden Bereichen:

- unzureichende Wärmeintegration der Verdampfungsprozesse (Anzahl der Verdampferstufen, unzureichende Brüdenkompression),
- stark verlustbehaftete Kälteversorgung, unzureichend dimensionierte oder isolierte Kältespeicher,
- stark verlustbehaftete Wärmeversorgung (Kondensatrücklauf, Absatzungsverluste, Bereitschaftsverluste, Verteilungsverluste),
- unzureichende Wärmeintegration der thermischen Milchbehandlungslinien sowie
- hohe Verluste bei der Produktförderung durch nicht bedarfsangepasste elektrische Antriebe und Pumpen.

Dieses Bild ist auf andere Betriebe und andere Branchen übertragbar, so dass mit einem gewissen Sicherheitsabschlag von realistischen durchschnittlichen Einsparpotenzialen zwischen 15 und 45 % gerechnet werden kann. Die Erschließung der meisten dieser Potenziale ist mit heute verfügbarer Technik möglich und bedarf zunächst keiner weiteren Entwicklungen.

**Theoretische
Einsparpotenziale
zwischen
20 und 60 %**

**Realistische
Einsparpotenziale
zwischen
15 und 45 %**

Effizienzevolution vs. Effizienzrevolution

Das Schließen dieser Lücke hin zu Effizienzzahlen nahe Eins wird im Folgenden als „Effizienzevolution“ bezeichnet. Der Entwicklungsprozess unterliegt zu einem gewissen Grade einem Automatismus, zumal bei Neuinvestitionen in der Regel moderne Technik gewählt wird, die üblicherweise auch mit einer höheren Energieeffizienz einher geht. Dies spiegelt auch die allgemeine Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs der deutschen Industrie wider (siehe oben).

Eine derartig große Spanne zwischen dem Ist-Zustand und dem heute Möglichen, wie sie in **Abbildung 2** dargestellt ist, ist allerdings in einem Wirtschaftsraum, in dem die Umsatzrenditen oft bei wenigen Prozenten liegen, kaum zu erklären. Bei derartig niedrigen Renditen müsste jedes Unternehmen sehr stark bestrebt sein, alle Kostensenkungspotenziale auszuschöpfen. Sowohl der Materialeinsatz als auch die Personalkosten sind in den vergangenen Jahrzehnten mit großen Anstrengungen optimiert worden, und die Vermutung liegt nahe, dass der Energie (in der Regel als unbegrenzt verfügbare Dienstleistung und weniger als Produktionsfaktor angesehen) auf Grund der verhältnismäßig niedrigen

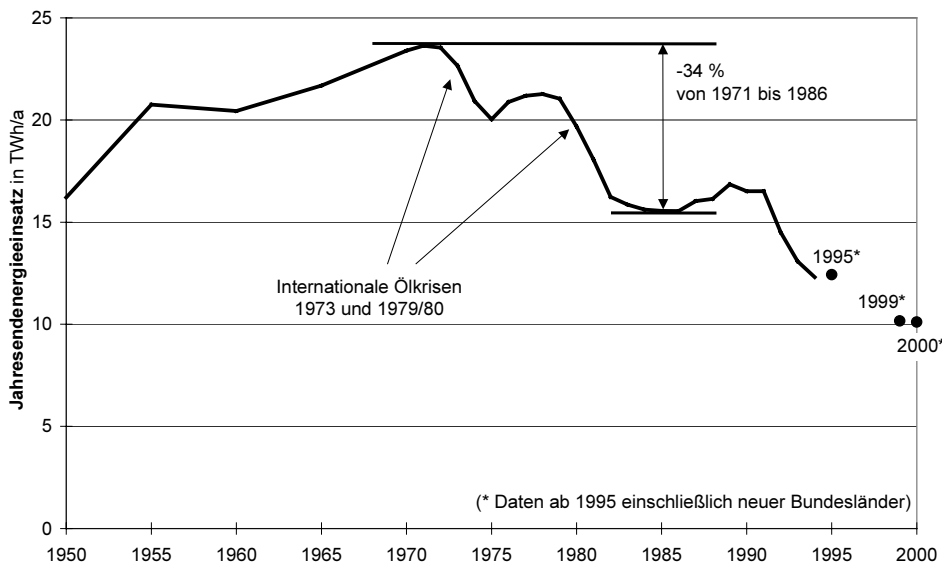
Effizienzevolution

Energiepreise nach wie vor eine untergeordnete Bedeutung beigemessen wird.

Selbst in Zeiten hoher Energiepreise in den Jahren von 1973 bis 1985 ist der spezifische Energiebedarf der deutschen Industrie in Summe nicht schneller gesunken als in den Jahren vor 1973 mit relativ niedrigen Energiepreisen. Die starke Reaktion in einzelnen Branchen mag mehr mit einem allgemeinen Bewusstseinswandel nach den internationalen Ölkrisen verbunden gewesen sein als mit der realen Belastung durch die gestiegenen Energiepreise. Zudem sind die Investitionszyklen in den besonders energieintensiven Industriezweigen, wie z.B. der Stahlindustrie oder der Zementindustrie, zu lang, als dass in diesem relativ kurzen Zeitraum substantielle Effizienzsteigerungen durch Neuinvestitionen hätten verzeichnet werden können. In anderen Branchen des verarbeitenden Gewerbes besteht in diesem Zusammenhang eine größere Flexibilität und ein größeres Reaktionsvermögen.

Zur Veranschaulichung ist in **Abbildung 3** beispielsweise die Entwicklung des Endenergiebedarfs in der deutschen Textilindustrie seit 1950 dargestellt. In diesem Industriezweig ist eine deutliche Reaktion auf die internationalen Erdölkrisen zu verzeichnen gewesen, begleitet allerdings von einem allgemeinen Rückgang der Wirtschaftsaktivitäten (Standortschließungen und -konzentration).

Spezifischer Energieeinsatz kontinuierlich reduziert



Beispiel Textilindustrie

Abbildung 3: Entwicklung des Endenergieeinsatzes des deutschen Textilgewerbes seit 1950 [8]

Eine zentrale Aufgabe der Energie- und Wirtschaftspolitik ist vor diesem Hintergrund die Lenkung und Unterstützung der Industrie bei der möglichst weitgehenden Schließung der Effizienzlücken – also die Beschleunigung der Effizienz evolution.

Unbestritten bleibt aber die Tatsache, dass in zahlreichen industriellen Prozessen der Energiebedarf auch aus technischen Gründen noch erheblich über dem theoretisch erforderlichen liegt. Durch Weiterentwicklung der jeweiligen Prozess- oder Verfahrenstechnik lassen sich dort auch heute noch signifikante Effizienzsprünge erzielen.

Ähnlich rasche Entwicklungen wie in der Vergangenheit sind in den nächsten Jahren nicht zu erwarten. Der intersektorale Strukturwandel ist bereits zum großen Teil erfolgt und der Rückgang der besonders energieintensiven Industriezweige wird nicht in gleichem Maße anhalten.

Dennoch sind auch in der Zukunft noch Effizienzsprünge durch neue Technologien oder Prozessalternativen möglich und zu erwarten. Analog zur „Effizienzevolution“ kann dies als „Effizienzrevolution“ bezeichnet werden.

**Effizienz-
revolution**

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass zur zukünftigen signifikanten Senkung des industriellen Energiebedarfs sowohl auf technologische Innovationen gesetzt als auch ein besonderes Augenmerk auf die Erhöhung der Durchdringung effizienterer Techniken sowie insbesondere auf die optimale Nutzung der betrieblichen Energiesystemtechnik – also die Erschließung von Optimierungspotenzialen unter Ausnutzung des heutigen Standes der Technik – gerichtet werden sollte.

Technische Entwicklungen und Innovationen

Effizienzentwicklungen im Rückblick

Der Rückgang des spezifischen und absoluten Energiebedarfs der deutschen Industrie in den vergangenen vier Jahrzehnten ist zum großen Teil auf technische Entwicklungen mit bedeutenden Effizienzsprüngen zurückzuführen.

So hat beispielsweise die Weiterentwicklung der Verdampfungstechnik – sowohl durch die Mehrfachverdampfung als auch durch die Entwicklung der Brüdenkompression – den Energieeinsatz in der Zuckerverarbeitung, im Brauereiwesen, in der Milchverarbeitung und in vielen anderen Bereichen der Ernährungsindustrie sowie in der chemischen Industrie drastisch gesenkt. Wie in **Abbildung 4** dargestellt, konnte der spezifische Wärmebedarf von Verdampferanlagen auf unter zehn Prozent des ursprünglichen Wertes reduziert werden.

**Verdampfungs-
technik**

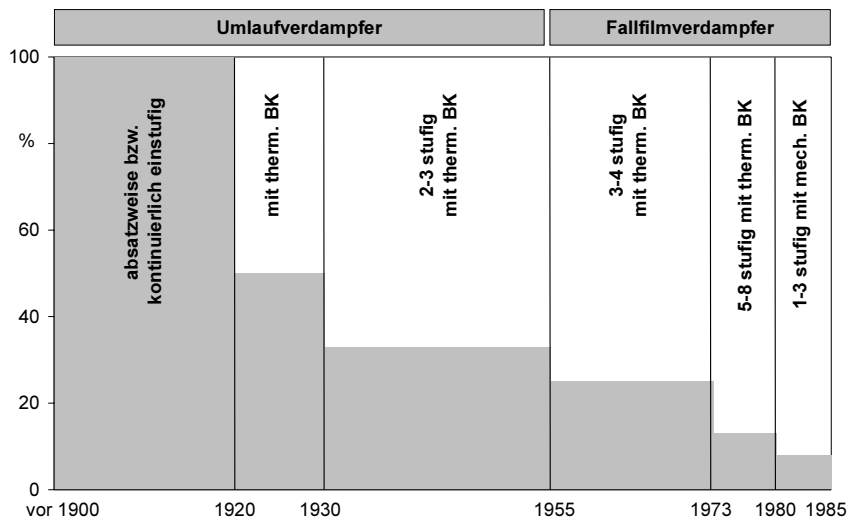


Abbildung 4: Entwicklung des Energiebedarfs von Verdampfern nach [9] (100 % entsprechen 1 kg Dampf pro kg Wasserverdampfung)

Die Branchen, in denen diese Technologie schwerpunktmäßig zum Einsatz kommt, konnten ihren spezifischen Energiebedarf in vergleichbarer Weise senken. So ist die Energieintensität der Zuckerindustrie in Deutschland von 1950 bis 1990 um 61 % zurückgegangen, wie **Abbildung 5** veranschaulicht.

Zuckerindustrie

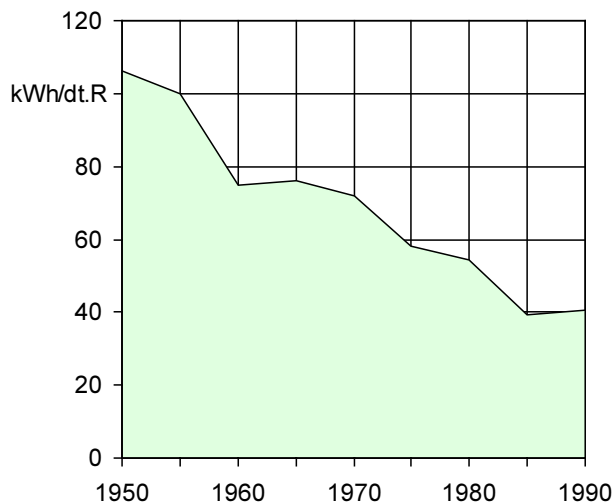


Abbildung 5: Entwicklung des spezifischen Primärenergiebedarfs der Zuckerindustrie in Deutschland [10]

Der Erfolg, den Betriebe der Zuckerindustrie aufzuweisen haben, kann in vielen anderen Branchen durch den konsequenten Einsatz moderner Verdampfungstechnik (Mehrfachverdampfung mit mechanischer Brüdenkompression) ebenfalls erreicht werden. Der Energiebedarf vieler Betriebe kann dadurch auch heute noch signifikant reduziert werden.

Entwicklungen mit ähnlichen Effizienzsprüngen können in allen Branchen immer wieder beobachtet werden, allerdings mit zunehmender Spezialisierung der Prozesse. So ist beispielsweise in der Textilveredlungsindustrie in den vergangenen Jahren ein neues Dekatierverfahren nach dem Verdampfungsprinzip entwickelt worden, welches durch die geschlossene Prozessführung eine Reduktion des spezifischen Wärmebedarfs um 83 % gegenüber dem traditionellen Prozess ermöglicht [8].

Textilveredlungs- industrie

Eine bedeutende Entwicklung mit evolutionärem Charakter ist die wachsende Durchdringung der thermischen Prozessintegration. In der Verfahrenstechnik, also insbesondere in der chemischen Industrie, hat dies zu einer erheblichen Reduzierung des Wärmebedarfs geführt – nicht durch technische Innovationen sondern allein durch die intelligente Kombination von Prozessen. Unter anderem aufgrund der zunehmenden Optimierung der Wärmeintegration ist der spezifische Energiebedarf der chemischen Industrie von 1970 bis 1994 um 48 % zurückgegangen.

Chemische Industrie

Potenziale und branchenspezifische Entwicklungen

Im Folgenden sind ausgewählte Entwicklungen aufgeführt, die mittelfristig weitere Effizienzsteigerungen in den Branchen mit der größten Energierelevanz für die deutsche Industrie erwarten lassen. Dies sind die chemische Grundstoffindustrie, die Stahlerzeugung, die Glasindustrie, die Papierherstellung, die Zementindustrie sowie die Ernährungsindustrie. Die zu erwartenden Entwicklungen in den meisten dieser Branchen sind umfangreich als so genannte „Emerging Techniques“ in Referenz-Handbüchern zur besten verfügbaren Technik (Best Available Techniques Reference Manual) des IPPC der Europäischen Kommission dokumentiert. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über diese branchenspezifischen Entwicklungen gegeben. Die Weiterentwicklung und Markteinführung dieser Technologien sollte ggf. staatlich unterstützt werden.

Chemische Grundstoffindustrie

Aus der Vielzahl der Prozesse in der Grundstoffchemie wurden insbesondere für die Chlor-Alkali-Elektrolyse Entwicklungspotenziale hervorgehoben [11].

Die Entwicklung der Vorkathode im Diaphragmaverfahren wird eine Reduzierung des spezifischen Stromverbrauches um 5 bis 7 % und zusätzlich eine Lebensdauererlängerung des Diaphragmas um 100 bis 200 % bewirken. Im energiewirtschaftlich ohnehin sehr viel günstigeren Membranverfahren ermöglicht die Entwicklung der Sauerstoffverzehrkathoden eine Reduzierung des spezifischen Stromverbrauches um 20 bis 25 %.

Entwicklung der Vorkathode im Diaphragma- verfahren

Beide Techniken befinden sich bereits kurz vor der Markteinführung.

Stahlerzeugung

In der Prozesskette der Stahlerzeugung sind in den kommenden Jahren bedeutende Entwicklungen zu erwarten, sowohl in der Kokerei als auch in der Roheisenerzeugung und der Elektrostahlerzeugung. Darüber hinaus wird erwartet, dass alternative Verfahren der Roheisenerzeugung ohne Einsatz von Koks oder Sinter in den kommenden 25 bis 50 Jahren die Stahlerzeugung revolutionieren werden [12].

In der Kokerei stellt das Einzelkammersystem (Single chamber system) eine Entwicklung dar, mit der die thermische Effizienz von 38 auf 70 % erhöht werden kann. Diese Technologie ist noch nicht kommerziell erhältlich, sollte aber weiter verfolgt werden.

**Einzelkammer-
system**

Bei der Roheisenerzeugung sind die Kohlenstaubeinblasung, die Wärmerückgewinnung aus der Schlacke sowie die integrierte Schrottvorwärmung die relevanten Innovationen. Durch den Ersatz von Koks durch Kohle wird die in den Kokereien benötigte Energie eingespart, Pilotanlagen sind bereits in Betrieb, und das Prinzip hat sich bewährt. Die möglichen Energieeinsparungen durch Wärmerückgewinnung aus der Schlacke belaufen sich auf etwa 3,5 %, allerdings ist diese Technik in naher Zukunft nicht kommerziell erhältlich.

**Ersatz von Koks
durch Kohle**

**Wärmerück-
gewinnung aus
der Schlacke**

In der Elektrostahlerzeugung befinden sich neue Schmelzofenkonzepte in der Erprobungsphase, welche eine wesentliche Reduzierung des Wärme- und Strombedarfs ermöglichen werden. Beispiele sind der Typ Comelt mit integrierter Schrottvorheizung (Pilotanlage ist installiert) sowie der kontinuierlich betriebene Contiarc-Schmelzofen (erheblich reduzierte Wärmeverluste, reduzierter Strombedarf um etwa 6 %, Pilotofen ist verwirklicht, eine Demonstrationsanlage in Planung).

**neue Schmelz-
ofenkonzepte**

Alternative Prozesse für die Roheisenherstellung (ohne Koks oder Sinter) gewinnen zunehmend an Bedeutung. Zwei Typen haben sich bewährt, zum einen der Direktreduktionsprozess (Direct reduction process), durch den der spezifische Energiebedarf um etwa 25 % gesenkt werden kann, und der Schmelz-Reduktionsprozess (Smelting reduction process), dessen Einsparungen noch nicht abschließend quantifiziert wurden.

**Alternative
Prozesse**

Glasindustrie

Die Glasindustrie ist besonders verhalten bei der Einführung noch nicht vollständig erprobter Technik in den eigenen Betrieben, hier ist Unterstützung z.B. durch eine Risikobeteiligung bei der Einführung hoch-effizienter Energiesysteme hilfreich. Von bedeutenden technischen Innovationen im Glasherstellungsprozess in den nächsten Jahren wird nicht ausgegangen. Vielmehr steht die Optimierung bereits erprobter Technik im Vordergrund [13].

Allerdings werden derzeit neue Schmelzofenkonzepte entwickelt, die einen reduzierten Energiebedarf ermöglichen können. So weist der Segmentschmelzofen eine etwa 25 % höhere Wärmeeffizienz gegenüber konventionellen Öfen auf. Beim so genannten Advanced Glass Melter, einem vollkommen neuartigen Konzept mit der Schmelzreaktion im Schwebezustand, sind energetische Vorteile noch nicht bekannt. Der durch die British Glass Research Group entwickelte Plasmaschmelzofen schließlich weist aufgrund seiner flexiblen Handhabbarkeit und des geringen Schmelzvolumens eine hohe Effizienz auf, er ist allerdings derzeit nur für sehr kleine Durchsätze konzipiert. Hier ist sicherlich Forschungsbedarf zu erkennen.

neue Schmelzofen- konzepte

Papierherstellung

Bei der Papierherstellung sind in den kommenden Jahren auf unterschiedlichen Gebieten Innovationen bzw. die Durchsetzung neu entwickelter Technologien zu erwarten [14].

Die Vergasung von Schwarzlauge mit nachgeschaltetem GuD-Prozess ist eine hochintegrierte Lösung zur Entsorgung der Schwarzlauge, die gegenüber der einfachen Verfeuerung in Kesselanlagen deutliche energetische Vorteile mit sich bringt. Eine Pilotanlage ist seit 1991 in Betrieb, vor 2010 wird mit einer breiten Einführung dieser Technik – insbesondere auf Grund der langen Investitionszyklen in der Papierindustrie – nicht gerechnet.

Vergasung von Schwarzlauge

Für den energieintensiven thermomechanischen Pulping-Prozess sind zwei neue Anlagenvarianten entwickelt worden, die gegenüber dem konventionellen System etwa 15 bis 20 % weniger elektrische Energie benötigen. Die beiden Systeme (RTS und Thermopulp) sind zwar bereits auf dem Markt, es wird jedoch mit einer nur zögerlichen Einführung und Verbreitung gerechnet.

Neue Anlagen- varianten für Pulping-Prozess

Die Rückgewinnung von Kesselasche mit anschließender Herstellung von mineralischen Füllstoffen reduziert den Energiebedarf zur CaO-Produktion aus CaCO₃ um bis zu 50 %. Die Entwicklung dieser Technik ist bereits vorangeschritten, die erste Pilotanlage ist in Deutschland (Schongau) installiert.

Rückgewinnung von Kesselasche

Schließlich bieten Wärmepumpen ein hohes Potenzial zur Energieeinsparung in der Papierindustrie. Aufgrund hoher Investitionskosten und des durch Chemikalien belasteten Arbeitsmediums wurden bisher jedoch erst wenige Anlagen in der Papierindustrie installiert.

Wärmepumpen

Zementindustrie

In der Zementindustrie ist insbesondere die Wirbelschichtsinterung eine Technik, die eine bedeutende Reduktion des spezifischen Energiebedarfs

Wirbelschicht- sinterung

ermöglicht. Ein Pilotprojekt wurde vom MITI in Japan in den Jahren 1989-1995 durchgeführt [15]. Die Anlage im Technikums-Maßstab hatte eine Kapazität von 20 t Klinker pro Tag, eine größere Anlage mit der zehnfachen Kapazität wurde 1995 gebaut. Die Ergebnisse der Pilotstudien ergaben einen um etwa 10 bis 12 % reduzierten thermischen Energiebedarf.

Ernährungsindustrie

Die Ernährungsindustrie hat den fünftgrößten Energieeinsatz des produzierenden Gewerbes in Deutschland. Sie ist geprägt durch eine starke Heterogenität und eine große Vielzahl an unterschiedlichen Prozessen. Zu dem sind in der Ernährungsindustrie viele kleine und mittelständische Unternehmen mit historisch gewachsenen Strukturen und oft veralteten Anlagen und Technologien. Die Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz sind immens, jedoch schwer zu erschließen. Die Scheu vor Investitionen ist relativ hoch, obwohl genügend innovative Technologien entwickelt worden sind.

Bei den Innovationen ist das Potenzial, welches der konsequente Einsatz und die Weiterentwicklung der Membrantrennverfahren bietet, besonders hervorzuheben. So ermöglicht beispielsweise die Umkehrosmose als vorgeschalteter Prozess vor der Verdampfung Einsparungen von bis zu 40 % [16].

Membrantrennverfahren

Branchenunabhängige Technikfelder

Neben diesen branchenspezifischen Innovationen lassen sich bestimmte branchenunabhängige Technikfelder definieren, in denen Entwicklungen und Innovationen weitreichende Auswirkungen auf den industriellen Energiebedarf haben werden. Auf fünf Forschungs- und Entwicklungsbereiche mit besonderer Energierelevanz wird im Folgenden kurz näher eingegangen.

Sensorik und Messtechnik

Die Prozessoptimierung im Allgemeinen ist von der zeitnahen Erfassung der Prozessparameter abhängig. In zahlreichen Bereichen z.B. der Verfahrenstechnik und der Hochtemperaturtechnik können viele der entscheidenden Parameter noch nicht – oder zeitlich und räumlich nicht ausreichend hoch aufgelöst – erfasst werden. Hier sind Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Sensorik und der Messtechnik erforderlich.

Als Beispiel seien genannt die zeitnahe Erfassung des chemischen Sauerstoffbedarfs in Färbe- und Spülbädern, die optische Überwachung

von Verbrennungsprozessen (siehe auch [17]) oder der Einsatz von resistenten Temperaturfühlern in chemischen Batch-Prozessen.

Steuerungs- und Regelungstechnik

Neben der Sensorik und Messtechnik birgt die Weiterentwicklung der Steuerungs- und Regelungstechnik auf allen Gebieten der industriellen Anwendungen große technologische Potenziale für die weitere Reduzierung des spezifischen Energiebedarfs in der Industrie.

Von besonderer Bedeutung ist hier auch der Einsatz von Simulationsprogrammen (MatLab Simulink, Aspen u.a.). Ohne Risiko – da keine technischen Veränderungen der Produktionsanlagen erforderlich sind – können in Modellen Abläufe verändert und innovative Anlagen integriert werden. Nach erfolgreicher Simulation können Regelungen zur Steigerung der Energieeffizienz schnell und meist reibungslos umgesetzt werden.

Prozess- simulation

Werkstoff- und Materialentwicklung

Entwicklungen bei den Werkstofftechnologien sind in allen Bereichen der industriellen Anwendungen gefordert und haben weitreichenden Einfluss auf den Energiebedarf vieler Prozesse. Sei es zur Optimierung von Gasturbinenprozessen durch die Erhöhung der Turbineneintrittstemperaturen, sei es für die Ausgestaltung der Oberflächen von Trocknern, um Ansatzbildung zu vermeiden, sei es für die Entwicklung der Hochtemperatur-Supraleitung oder für Verbesserungen der Halbleitertechnik und Leistungselektronik: die Werkstoff- und Materialforschung hat für alle Bereiche eine hohe Relevanz.

Energiespeicher

Chemothermische und chemoelektrische Energiespeicher werden in Zukunft eine entscheidende Rolle bei Steigerung der Energieeffizienz und bei der weiteren Dezentralisierung der Energieversorgung spielen. Insbesondere fehlen in der Industrie für die Nutzung von Restwärme oft Senken. Die überschüssige Wärme wird an die Umgebung abgegeben.

Bei der Restwärmenutzung, bei der Wärmeintegration von diskontinuierlichen Prozessen sowie bei der Intensivierung der Nutzung von industrieller Kraft-Wärme-Kopplung ist die Energiespeicherung über einen Zeithorizont von mehreren Stunden bis zu einigen Tagen sowie ggf. der Transport von Energie von einem Werk zu einem anderen von hoher Bedeutung.

Es wird sehr stark von der zukünftigen Entwicklung der Energiespeichersysteme abhängen, wie weit die Dezentralisierung der Energiewirtschaft vorangetrieben werden kann.

Prozessalternativen – Beispiel: Vermeidung von Trocknungsprozessen

Trocknungsprozesse gehören in allen Industriezweigen, in denen sie vorkommen, zu den energieintensivsten Prozessen. Der Energiebedarf der Trocknung selbst wird in der Regel wesentlich von der gewünschten Produktionsgeschwindigkeit beeinflusst und weniger vom Produkt. Zur Reduzierung des Energiebedarfs für die Trocknung sollte daher neben der Optimierung der Trocknungsprozesse an sich und der konsequenten Vorschaltung der mechanischen Entwässerung insbesondere die Entwicklung alternativer Verfahren vorangetrieben werden, welche die Trocknung überflüssig machen.

So wird in der Textilveredlung beispielsweise an der Entwicklung von Trocken- oder Vakuumbeschichtungsverfahren sowie an dem Einsatz von flüssigem CO₂ als Trägermedium für Ausrüstungen und Färbungen gearbeitet, welches unter Hochdruck auf das Textil aufgebracht wird.

Eine ähnliche Richtung sollten Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten auch in anderen Branchen nehmen.

Alternative Beschichtungsverfahren

Nutzung erneuerbarer Energiequellen in der Industrie

Die Nutzung erneuerbarer Energien hat in der Industrie bisher kaum eine Bedeutung.

Rein vom technischen Potenzial ist Solarthermie sehr geeignet für thermische Prozesse auf niedrigem Temperaturniveau (bis etwa 140 °C), also z.B. Niedertemperaturprozesse in der chemischen Industrie, Färbe- und Spülprozesse in der Textilindustrie, diverse Garprozesse sowie Verdampfung in der Ernährungsindustrie, Wassererhitzung oder -vorwärmung etc. Die Dachflächen der Produktionsstätten sind in der Regel ausreichend, um auch in unseren Breiten einen signifikanten Anteil des Wärmebedarfs durch Solarenergie zu nutzen. Unter heutigen Randbedingungen allerdings ist die Wirtschaftlichkeit dieser Anwendungen noch nicht gegeben.

Solarthermie

Die Möglichkeiten zur Nutzung von Biogas und Biomasse, insbesondere in den unterschiedlichen Sektoren der Ernährungsindustrie, sind ebenfalls noch bei weitem nicht vollständig ausgeschöpft. Vereinzelt sind Ansätze zur Nutzung von Klärgas in Betrieben mit eigenen Kläranlagen auf dem Betriebsgelände vorzufinden (siehe auch [16]). Technologisch ist die Biogas- und Klärgasnutzung vollkommen ausgereift, derzeit scheitert die Umsetzung meist noch an Rentabilitäts- oder Liquiditätsproblemen.

Biogas und Biomasse

Im Bereich erneuerbarer Energiequellen ist die staatliche Unterstützung hilfreich, um die heute noch fehlende Wirtschaftlichkeit derartiger Investitionen auszugleichen oder aber die notwendige Liquidität zu ermöglichen.

Instrumente zur Förderung der Energieeffizienz

Mit dem Ziel der weiteren Erhöhung der industriellen Energieeffizienz in Deutschland sollten entsprechend der oben getroffenen Aussagen zwei Richtungen verfolgt werden:

1. Die Unterstützung der „Effizienzrevolution“ durch
 - a) die Förderung technologischer Entwicklungen
 - b) die zielgerichtete Anpassung der Forschungsförderung
2. Die Unterstützung der „Effizienzrevolution“ durch die Förderung
 - c) der Um- und Nachrüstung von Anlagen,
 - d) der System-, Anlagen- und Standortintegration,
 - e) der Umsetzung allgemeiner Effizienzmaßnahmen.

Zudem sollte auf breiter Ebene die Nutzung erneuerbarer Energiequellen in der Industrie gefördert werden, um durch eine frühzeitige und breite Einführung dieser Technologien den Übergang zur Wirtschaftlichkeit zu erleichtern.

Bei dieser Auflistung bezieht sich Förderung nicht ausschließlich auf die finanzielle Unterstützung, sondern schließt wirtschaftspolitische Instrumente mit ein.

Im Folgenden wird auf die Punkte a) bis e) näher eingegangen, und es schließt sich eine kurze Betrachtung möglicher Instrumente an, die insbesondere auf die Punkte c) bis e) abzielen.

Förderung technologischer Entwicklungen

Ein wichtiger Baustein zur Unterstützung der Zunahme der industriellen Energieeffizienz ist sicherlich die geeignete Förderung von Forschung und Entwicklung der in den bisherigen Ausführungen genannten Technikfelder. Zwei Technikfelder bzw. Systeminnovationen mit großen Hemmnissen, auf die bisher nicht näher eingegangen wurde, sollten ebenfalls unterstützt werden:

- Brennstoffzellen und Wasserstoffwirtschaft: Durch die flexible Gestaltung der Anlagengröße (modularer Aufbau) ist die Brennstoffzellentechnik für die Industrie besonders interessant und könnte zukünftig eine breitere Durchdringung als die Kraft-Wärme-Kopplung auf Motoren- oder Turbinenbasis erlangen. Die Entwicklung der erforderlichen Infrastruktur wird bei entsprechender Marktentwicklung eine starke Eigendynamik erfahren.
- Wärmepumpen in Verbindung mit einer intelligenten Ausnutzung von Restwärmequellen: Absorptionswärmepumpen und -kältemaschinen sowie Kompressionswärmepumpen haben in der Industrie bis heute praktisch keine Bedeutung. Insbesondere in der Vielzahl der Betriebe

Brennstoffzelle

Wärmepumpe

mit thermischen Prozessen auf niedrigem Temperaturniveau (bis etwa 90 °C) oder mit Kühlbedarf auf Temperaturniveaus zwischen 0°C und 5 °C könnte der Einsatz der Absorptionstechnik einen bedeutenden Beitrag leisten. Sowohl die schlechten Erfahrungen mit der Kompressionstechnik in den Siebzigerjahren als auch anhaltende Probleme der Regelungstechnik lassen die Absorptionstechnik heute immer noch ein Schattendasein fristen. Eine Unterstützung der erneuten Markteinführung erscheint sinnvoll.

Zielgerichtete Anpassung der Forschungsförderung

Die deutsche Forschungsförderung kann im Großen und Ganzen auch heute schon als beispielhaft bezeichnet werden – auch wenn die Ausstattung der Forschungsbudgets in den unterschiedlichen Ressorts nicht unumstritten ist. Die Hochschulforschung ist recht gut ausgestattet, und die Aufmerksamkeit der Hochschulen deckt sich in vielen Bereichen mit den Anforderungen aus der Praxis (siehe hierzu auch [18]) – die Einbindung der Praxis ist häufig jedoch zu gering.

Leider ist insbesondere die staatliche Förderung durch einen sehr großen Verwaltungsaufwand geprägt und für die Empfängerseite mit sehr hohen Auflagen beispielsweise hinsichtlich der Nachweispflicht verbunden. Dies stellt insbesondere für mittelständische Unternehmen ein großes Hemmnis für die Inanspruchnahme von Fördermitteln dar. Aus diesem Grund ist die praxisnahe Anwendungsforschung – insbesondere im Vergleich zur Hochschul- und Grundlagenforschung – eher unzureichend in Deutschland vertreten.

Werden umfangreichere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der Industrie geleistet, sind es meist Großunternehmen, die im Gegensatz zu den mittelständischen Unternehmen über ausreichende Kapazitäten im F&E-Bereich verfügen. Durch die geringen Forschungsaktivitäten der mittelständischen Unternehmen können viele potenzielle Forschungsinitiativen aus der Wirtschaft nicht weiter verfolgt werden.

Ein weiterer kritischer Aspekt der Industrieförderung ist die enge Auslegung der Kriterien für die Zuwendungsfähigkeit von Projekten in der kleinen und mittelständischen Industrie. Durch die in allen Wirtschaftssektoren zunehmende Unternehmenskonzentration gehören viele ehemalige mittelständische Unternehmen nun großen Unternehmensgruppen an und verlieren dadurch die Zuwendungsberechtigung. Von den Konzernzentralen werden diese Unternehmen aber nach wie vor als eigenverantwortliche Einheiten betrachtet.

Die Forderung besteht also insgesamt nach einer Vereinfachung der Förderprozesse für die Mittelempfänger aus der Wirtschaft, insbesondere

**Nachweispflicht
zu aufwändig**

**Zuwendungsfähigkeit von
Projekten**

aus der mittelständischen Wirtschaft, und einer Überprüfung der Zuwendungskriterien.

Unterstützung der Um- und Nachrüstung von Anlagen

Die Erhöhung des Durchdringungsgrades effizienter Technologien ist wesentlich für eine weitere Reduzierung des spezifischen Energiebedarfs der Betriebe. Mit diesem Ziel sollte die Um- und Nachrüstung von Anlagen durch geeignete Instrumente unterstützt werden.

Insbesondere langlebige Anlagen, wie beispielsweise Großanlagen in der Zementindustrie, der Stahlindustrie, der Glasindustrie oder der chemischen Industrie können teilweise nachträglich mit moderner Messtechnik und Sensorik ausgestattet und die Prozesssteuerung an den heutigen Stand angepasst werden.

Hohe Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Leistungsanpassung und Drehzahlregelung elektrischer Antriebe. Die Einführung dieser Technik ist bei weitem noch nicht abgeschlossen, nach [19] lassen sich – bezogen auf den gesamten industriellen Stromeinsatz – bis zu 8 Prozent durch den Einsatz von elektronischer Drehzahlregelung einsparen.

Ähnliche Potenziale weist die industrielle Wärmeversorgung auf. In vielen Industriezweigen beträgt das Durchschnittsalter der installierten Dampferzeuger ca. 20 Jahre (siehe auch [8]), bis zu einem Drittel der Anlagen sind älter als 30 Jahre. Hier lassen sich durch Ersatzinvestitionen bis zu 20 % der Brennstoffenergie einsparen.

Durch entsprechende Investitionsanreize, aber durchaus auch durch gesetzliche Auflagen können in all diesen Bereichen noch enorme Effizienzsteigerungen erzielt werden.

Unterstützung der System-, Anlagen- und Standortintegration

Bei der energiewirtschaftlichen Gesamtbetrachtung sollte großer Wert auf die weitere Steigerung der integrierten Energienutzung gelegt werden, also auf die Integration von Energiesystemen für eine möglichst optimale Ausnutzung der eingesetzten Energieträger.

Die konsequente Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung in der industriellen Energieversorgung ermöglicht die Erschließung bedeutender Potenziale und sollte als Schwerpunkt der Umsetzungsförderung angesehen werden. Unterstützt werden kann sie unter anderem durch die Bereitstellung der erforderlichen Infrastruktur für die Integration mehrerer Standorte (Nahwärmenetze und Kühlwassernetze auf unterschiedlichen Temperaturniveaus, Wärmespeicher) und die Erleichterung der rechtlichen Rahmen-

Messtechnik und Sensorik

Leistungsanpassung und Drehzahlregelung

Kraft-Wärme-Kopplung

bedingungen für den Energietransport. In diesem Zusammenhang haben auch die weiter vorne bereits erwähnten Energiespeicher eine große Bedeutung.

Auch die Wärmeintegration und der Einsatz von Wärmepumpen werden durch eine versorgungstechnische Kopplung mehrerer Standorte erleichtert. Bei einer integralen Standortplanung (z.B. im Sinne so genannter Öko-Tech-Parks) lässt sich die energiewirtschaftliche Standortintegration durch entsprechende Zulassungsvoraussetzungen weiter optimieren, wie z.B. die Verpflichtung zur Teilnahme am Nahwärmenetz.

Integrale Standortplanung

Umsetzungsförderung allgemeiner Effizienzmaßnahmen

Die energieorientierte Analyse von Industriestandorten zur Aufdeckung von Potenzialen sowie die Beratung des mittleren Managements hinsichtlich der Optimierung der betrieblichen Energiewirtschaft hat bereits heute einen hohen Stellenwert in der staatlichen Umsetzungsförderung. Diese Förderprogramme sind zu begrüßen und sollten aufrechterhalten bleiben. Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang auch branchenspezifische Projekte (vgl. z.B. die Projekte in Nordrhein-Westfalen), die für einzelne Zielgruppen maßgeschneiderte Lösungen und Wege aufzeigen.

Erstellung von Energiekonzepten

Auch Investitionen in konventionelle und erprobte moderne Energietechnik sollten weiterhin durch zinsgünstige Kredite, Zuschüsse und der Förderung der konzeptionellen Vorarbeiten unterstützt werden. Typische Schwerpunktbereiche für derartige Förderinstrumente können sein:

Investitionen in erprobte, moderne Energietechnik

- die Wärmeversorgung (Dampferzeuger, Wasseraufbereitungsanlagen, Kondensatsammelschienen)
- die Kälteversorgung (Kompressions- und Absorptionskältemaschinen, Kältespeicher, Leitungsisolierung)
- die Druckluftversorgung (Kompressoren, Steuerungskonzepte, Druckluftspeicher, Optimierung der Rohrnetze)
- die Hallenlüftung und -klimatisierung (Leistungsanpassung und Drehzahlregelung der Ventilatoren, Wärmerückgewinnungssysteme)
- Pumpen und elektrische Antriebe (Leistungsanpassung und Drehzahlregelung)

Wirtschaftspolitische Instrumente

Die Zunahme der Energieeffizienz in der Industrie wird wesentlich beeinflusst durch den Durchdringungsgrad des Standes der Technik. Nicht nur bei gezielten Maßnahmen sondern auch bei der regulären Investitionstätigkeit werden Einsparungseffekte erzielt, da die modernere Technik in der Regel mit höherer Energieeffizienz einher geht. Die

Begünstigung des allgemeinen Investitionsklimas ist daher eine immer wiederkehrende Forderung an die Wirtschaftspolitik.

Daneben bleibt die Förderung der Bewusstseins-schaffung durch Information und Beratung nach wie vor von großer Bedeutung, auch wenn auf diesem Gebiet in Deutschland bereits viel getan wird.

Wenn mittelfristig eine bedeutende Reduktion des absoluten Energieeinsatzes in der Industrie erreicht werden soll, könnte der Einsatz ordnungspolitischer Steuerungsinstrumente möglicherweise unumgänglich sein. Entgegen der Meinung des BDI (siehe [6]) dürfte ein Anstieg der Energiepreise durchaus eine Lenkungswirkung haben – wenn er spürbar und lang anhaltend ist. Die Öko-Steuer nach dem derzeitigen Modell kann, wenn überhaupt, nur eine geringe Lenkungswirkung haben, zumal die höheren Energiepreise de facto zu keiner Netto-Mehrbelastung der Betriebe führt (Gegenrechnungsmodell). Zwar ist eine Entlastung der Betriebe bei den Lohnnebenkosten wünschenswert, sobald allerdings eine Verrechnung mit der Mehrbelastung durch die Energiesteuer stattfindet, geht der eigentlich beabsichtigte Lenkungseffekt verloren. Hier sind mittelfristig sicherlich andere Instrumente gefragt.

Die Einführung einer Quotenlösung für Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland unter Einbeziehung der Industrie und in Verbindung mit einem marktwirtschaftlich basierten Zertifikatmodell würde den Ausbau der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung sicherlich stark fördern.

Ein wirksames Instrument zur Reduzierung des Energiebedarfs bzw. der CO₂-Emissionen auf Bundesebene können verpflichtende Reduktionsziele sein, deren Erreichung analog zum internationalen Emissionshandel derart flexibel ausgestaltet werden sollte, dass die Belastung gleichmäßig auf die gesamte Industrie verteilt wird. Die Reduktionsverpflichtungen können dabei an die Möglichkeiten der einzelnen Branchen angepasst werden bzw. an die derzeit bestehende Vereinbarung der Industrie mit der Bundesregierung.

Eine periodische Ausgabe von Energie- oder Emissionszertifikaten, deren Summe dem jeweiligen Ziel der gesamten Industrie in der Bundesrepublik entspricht, und die Möglichkeit des freien Handels mit diesen Zertifikaten innerhalb der Industrie, würde dazu führen, dass Effizienzmaßnahmen durch den Marktmechanismus automatisch dort erfolgen, wo sie am kostengünstigsten sind. Eine weitere Besteuerung der Energie (oder des CO₂-Ausstoßes) wäre damit hinfällig.

Dieses Instrument des „flexiblen Weges“ könnte theoretisch auch vollkommen losgelöst von den internationalen Klimaschutzaktivitäten und den internationalen Emissionshandelsplattformen eingesetzt werden.

**Förderung der
Bewusstseins-
schaffung**

**Anstieg der
Energiepreise**

Öko-Steuer

**Kraft-Wärme-
Kopplung**

**Ausgabe von
Energie- oder
Emissions-
zertifikaten**

Literatur

- [1] Eichhammer, W., Mannsbart, W., *Industrial energy efficiency, Indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in the manufacturing industry*, Energy Policy 25 (1997) 7-9, 759-772
- [2] Nagata, Y., *The US/Japan comparison of energy intensity. Estimating the real gap*, Energy Policy **25** (1997) 7-9, 683-691
- [3] Bosseboeuf, D., Chateau, B., Lapillonne, B., *Cross-country comparison on energy efficiency indicators: the on-going European effort towards a common methodology*, Energy Policy **25** (1997) 7-9, 673-682
- [4] Prognos AG (Hrsg.), *Energierport III – Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt*, Schäffer-Poeschel Verlag (2000) ISBN 3-7910-1680-6
- [5] Bundesministerium für Wirtschaft BMWI, *Energie-Effizienz-Indikatoren: Statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis*, BMWI-Dokumentation Nr. 461 (1999)
- [6] Bundesverband der Deutschen Industrie BDI, *Energiesparen in der Industrie*, BDI-Dokumentation (1998)
- [7] Kruska, M., *Bewertung der Energieeffizienz von Industriebetrieben am Beispiel der Milchverarbeitung*, Dissertation RWTH Aachen (voraussichtliche Veröffentlichung 2002)
- [8] Kruska, M., Meyer, J., Elsasser, N., Trautmann, A., Weber, P., Mac, T., *Rationelle Energienutzung in der Textilindustrie – Leitfaden für die betriebliche Praxis*, Vieweg Verlag (2001), ISBN 3-528-03178-6
- [9] Kessler, H.-G., *Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik – Molkereitechnologie*, Verlag Kessler (1996)
- [10] Baloh, A., *Energiewirtschaft in der Zuckerindustrie*, Verlag Albert Bartens (1991), ISBN 3-87040-047-1
- [11] European Commission, *Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing industry*, IPPC Dokumentation (2000)
- [12] European Commission, *Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel*, IPPC Dokumentation (2000)
- [13] European Commission, *Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry*, IPPC Dokumentation (2000)

- [14] European Commission, *Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry*, IPPC Dokumentation (2000)
- [15] European Commission, *Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries*, IPPC Dokumentation (2000)
- [16] Meyer, J., Kruska, M., Kuhn, H.-G., Sieberger, B.-U., Bonczek, P., *Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie – Leitfaden für die betriebliche Praxis*, Vieweg Verlag (2000), ISBN 3-528-03173-5
- [17] Haug, M., Schreiber, M., Schulpin, H.-J., Derichs, W., Brückner, K.: *Optische Diagnosesysteme zur Analyse des Verschmutzungsverhaltens in Dampferzeugern*, 20. Deutscher Flammentag, VDI-Bericht 1629, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf
- [18] Bundesverband der Deutschen Industrie BDI, *Energieforschung für die Zukunft – Gemeinsames Positionspapier von Wissenschaft und Industrie Deutschlands* (Entwurf vom 22. Oktober 2001)
- [19] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie ZVEI, *Energiesparen mit elektrischen Antrieben* (1999)