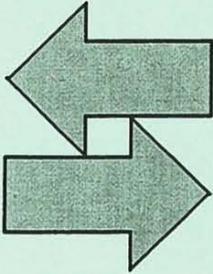


**Forschungsprogramm**

**Energiewirtschaftliche Grundlagen**



# **Effiziente Energienutzung: Investitionspraxis in der Industrie**

Ausgearbeitet durch

**BHP – Brugger, Hanser und Partner AG, Zürich**

im Auftrag des

**Bundesamtes für Energie**

Januar 2000

---

# Impressum

## **Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie, Bern

## **Auftragnehmer:**

BHP - Brugger, Hanser und Partner AG, Zürich

## **Autoren:**

Dr. Jürg Kuster, BHP - Brugger, Hanser und Partner AG, Zürich (*Kapitel 1, 3 und 4*)

In Zusammenarbeit mit:

Jean-Fred Zweiacker, dipl. Ing. HTL/NDS Energie, RAPP AG Ingenieure und  
Planer, Basel (*Kapitel 2*)

Michael Rosch, Dipl. Ing. TH Karlsruhe, Consulting Verfahrenstechnik, Allschwil

## **Begleitende Arbeitsgruppe:**

Dr. Th. Bürki, Leiter Ressort „Industrie“ des Programms Energie 2000

Dr. R. Meier, Programmleiter EWG

H.U. Schärer, Sektionschef Bundesamt für Energie

Prof. Dr. M. Zogg, Programmleiter Forschung UAW

Für den Inhalt der Studie sind allein die Auftragnehmer verantwortlich.

Vertrieb: - Bundesamt für Bauten und Logistik, 3003 Bern

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>I</b>
<b>Résumé</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Entwässerung und Trocknung in der Schweizer Industrie</b>	<b>3</b>
2.1 Systematik der Entwässerungs- und Trocknungsverfahren	3
2.2 Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung in der Schweizer Industrie	8
2.3 Potential zur Erhöhung der Energieeffizienz der industriellen Entwässerung und Trocknung in der Schweiz	11
<b>3 Fördernde und hemmende Faktoren bei der Realisierung von Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz</b>	<b>20</b>
3.1 Innovationshemmende Faktoren	21
3.2 Innovationsfördernde Faktoren	26
3.3 Bilanz	32
<b>4 Handlungsempfehlungen</b>	<b>34</b>
<b>Verwendete Materialien</b>	<b>39</b>

## Zusammenfassung

### Aufgabenstellung

- **Potential zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Schweizer Industrie.** In der Industrie scheint ein Potential zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz zu bestehen, welches nur teilweise ausgeschöpft wird, obwohl die betreffenden Massnahmen
  - beim heutigen Stand der Technik machbar wären
  - betriebswirtschaftlich tragbar wären, d.h. einen positiven Return on investment erwarten lassen bzw. eine Pay-back-Zeit aufweisen, die kürzer ist als die Lebensdauer der Anlage.
- **Fragestellung.** Vor diesem Hintergrund interessieren zwei Kernfragen:
  - **Welche Gründe sind in der unternehmerischen Praxis dafür massgebend, dass technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz realisiert bzw. nicht realisiert werden?**
  - **Welche Ansatzpunkte bestehen für die öffentliche Hand, um zu einer besseren Ausschöpfung der Einsparpotentiale beizutragen?**

Diese Fragen wurden gemäss Vorgaben des Bundesamtes für Energie (BFE) am Beispiel der industriellen **Entwässerung und Trocknung** überprüft.

### Entwässerung und Trocknung in der Schweiz

- **Energieintensiver Grundprozess.** 1995 entfielen ca. 8% des Endenergieverbrauchs der Schweizer Industrie auf
  - **mechanische Entwässerungsprozesse** (z.B. Zentrifugen, Pressen, Filterpressen) und insbesondere auf
  - **thermische Trocknungsprozesse** (z.B. Konvektionstrockner, Kontaktstrockner, Strahlungstrockner)

inklusive die hierfür erforderliche Betriebsinfrastruktur (Energieversorgung und -verteilung, Regelung/Steuerung etc.).

- **Chemie/Nahrungsmittel/Papier/Textil.** Entwässerungs- und Trocknungsprozesse haben nur in den vier Industriezweigen Chemie, Nahrungsmittel, Papier und Textil eine grössere Bedeutung. Wie Abbildung 1 zeigt, entfallen auf diese vier Branchen 88% des industriellen Energieverbrauchs für Entwässerung und Trocknung.

**Abb. 1 Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung in der Industrie (1995)**

Branche	Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung	
	Total	pro Arbeitsplatz
Chemie	ca. 2'500 TJ (= 17%)	ca. 30 GJ
Nahrungsmittel	ca. 1'100 TJ (= 8%)	ca. 20 GJ
Papier	ca. 7'400 TJ (= 51%)	ca. 440 GJ
Textil	ca. 1'800 TJ (= 12%)	ca. 60 GJ
übrige Branchen	ca. 1'700 TJ (= 12%)	ca. 2 GJ
Total Industrie	ca. 14'500 TJ (= 100%)	ca. 10 GJ

- **Unausgeschöpfte Einsparpotentiale.** Das technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare Potential zur Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs<sup>1</sup> für Entwässerung und Trocknung liegt gemäss vorliegenden Schätzungen in den nächsten 10 – 15 Jahren bei circa 15% des heutigen spezifischen Energieverbrauchs. Berücksichtigt man das unternehmerische Investitionsverhalten (vgl. unten), so dürfte das realisierbare Sparpotential in der Grössenordnung von 10 bis 15 % liegen.

## Analysedesign

- **Durchführung einer Fallstudie.** Zur Klärung der Gründe, welche dafür massgebend sind, ob technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare

<sup>1</sup> Spezifischer Energieverbrauch = Energieverbrauch pro produzierte Einheit

Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz realisiert bzw. nicht realisiert werden, bedarf es einer Analyse konkreter unternehmerischer Entscheidungsprozesse. Zu diesem Zweck wurden Intensivinterviews mit technischen Leitern von 20 Betrieben aus den Branchen Chemie, Nahrungsmittel, Papier und Textil geführt. Dabei wurden insgesamt

- 28 von den Betrieben geprüfte Energiesparinvestitionen untersucht, die trotz technischer Machbarkeit und betriebswirtschaftlicher Tragbarkeit nicht realisiert worden sind
- 49 realisierte Investitionen im Bereich Entwässerung und Trocknung analysiert

### **Hemmende Faktoren bei der Realisierung von Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz**

- **Industrielle Investitionsplanung.** Das Finanzvolumen der Investitionsvorschläge aus den verschiedenen Einheiten eines Unternehmens ist meist deutlich grösser als die für eine bestimmte Investitionsperiode verfügbaren Mittel. Das schliesslich realisierte Investitionsprogramm ist deshalb das Ergebnis eines mehrstufigen Selektionsprozesses. Verwirklicht werden schliesslich Zwangsinvestitionen (z.B. Ersatzinvestitionen, Investitionen zur Erfüllung von Vorschriften z.B. im Brandschutz) sowie jene Wahlinvestitionen, welche sich durch ein besonders günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis auszeichnen.
- **Verzicht auf technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz.** Die Untersuchung von 28 nicht realisierten Investitionen zur Erhöhung der Energieeffizienz zeigt sehr klar, dass die grosse Mehrzahl dieser potentiellen Investitionen deshalb nicht durchgeführt worden ist, weil deren Vorteile im Vergleich zu anderen konkurrierenden Investitionsvorhaben nicht genügend gross waren. Gemäss Abbildung 2 wurde dieser Grund für den Verzicht auf eine Investition von den befragten Betriebsleitern in 11 Fällen explizit genannt. In 17 Fällen wurden zu wenig attraktive wirtschaftliche Nutzeffekte ins Feld geführt, was nichts anderes bedeutet, als dass die verfügbaren Mittel für betriebswirtschaftlich wichtigere oder attraktivere Investitionsvorhaben eingesetzt worden sind. Wie Abbildung 2 zeigt, sind „absolute Schwächen“ möglicher Investitionen (z.B. Furcht vor Qualitätseinbusse, Engpässe bei Fachpersonal) gegenüber den

genannten „**relativen Schwächen**“ (= Schwächen im Vergleich zu anderen Investitionsvorhaben) von klar untergeordneter Bedeutung.

**Abb. 2 Gründe für den Verzicht auf technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz**

Gründe für Verzicht auf Investitionsvorhaben	Anzahl Nennungen (... von 28 Investitionsvorhaben)
<p><b>„Relative Schwächen“ des Vorhabens im Vergleich zu konkurrierenden Investitionsvorhaben</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Andere Prioritäten für Einsatz der beschränkten Mittel</li> <li>• Zu geringer Return on investment; zu lange Pay-back-Periode; zu geringer Nutzwert</li> <li>• Geringe Vorteile, da Energiekosten für Betrieb von untergeordneter Bedeutung</li> <li>• Geringe Vorteile, da Energieeffizienz des Betriebes bereits hoch</li> </ul>	<p>11 (= 39%)</p> <p>17 (= 61%)</p> <p>4 (= 14%)</p> <p>5 (= 18%)</p>
<p><b>„Absolute Schwächen“ des Vorhabens</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Furcht vor Qualitätseinbuße bzw. vor sinkender Leistungsbereitschaft</li> <li>• Engpässe bei Fachpersonal; weitere Neuerungen nicht verkraftbar</li> </ul>	<p>3 (= 11%)</p> <p>4 (= 14%)</p>

Quelle: Erhebungen BHP

### **Fördernde Faktoren bei der Realisierung von Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz**

- **Stellenwert der Energie bei realisierten Investitionen im Bereich Entwässerung und Trocknung.** In den vergangenen 10 Jahren haben die untersuchten Betriebe verschiedene bedeutende Veränderungen bei den Entwässerungs- und Trocknungsprozessen und der hierfür notwendigen Betriebsinfrastruktur vorgenommen. Bei 36 (= 74%) der von den befragten technischen Leitern als besonders wichtig taxierten 49 Investitionen wurde der

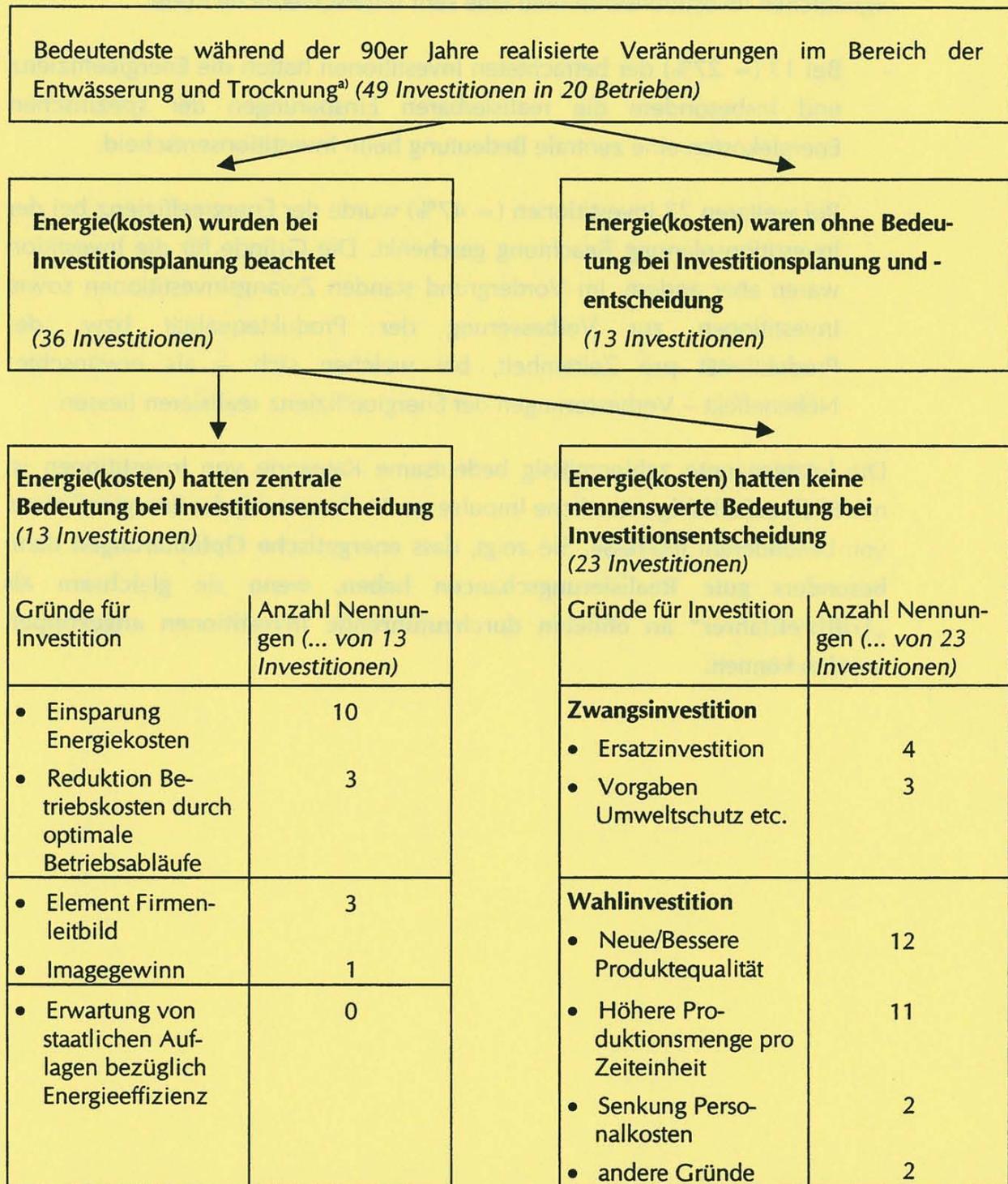
Energieeffizienz bei der Investitionsplanung Beachtung geschenkt, obwohl die Energiekosten bei den meisten untersuchten, als energieintensiv einzustufenden Betriebseinheiten nicht mehr als 1% bis 4% des Umsatzes ausmachen<sup>2</sup>. (vgl. Abbildung 3). Allerdings spielte die Energieeffizienz beim eigentlichen Investitionsentscheid eine sehr unterschiedliche Rolle:

- Bei 13 (= 27%) der betrachteten Investitionen hatten die Energieeffizienz und insbesondere die realisierbaren Einsparungen der spezifischen Energiekosten eine zentrale Bedeutung beim Investitionsentscheid.
- Bei weiteren 23 Investitionen (= 47%) wurde der Energieeffizienz bei der Investitionsplanung Beachtung geschenkt. Die Gründe für die Investition waren aber andere. Im Vordergrund standen Zwangsinvestitionen sowie Investitionen zur Verbesserung der Produktequalität bzw. der Produktivität pro Zeiteinheit, bei welchen sich – als erwünschter Nebeneffekt – Verbesserungen der Energieeffizienz realisieren liessen.

Die letztgenannte zahlenmässig bedeutsame Kategorie von Investitionen ist mit Blick auf allfällige staatliche Impulse zur Verbesserung der Energieeffizienz von besonderem Interesse. Sie zeigt, dass **energetische Optimierungen dann besonders gute Realisierungschancen haben, wenn sie gleichsam als „Trittbrettfahrer“ an ohnehin durchzuführende Investitionen angekoppelt werden können.**

<sup>2</sup> Höhere Werte verzeichnen nur die untersuchten Betriebe aus der Papierindustrie.

**Abb. 3 Stellenwert der Energie bei realisierten Investitionen im Bereich Entwässerung und Trocknung**



a) Stellenwert der Investitionen entspricht Einschätzung der befragten technischen Betriebsleiter

Quelle: Erhebungen BHP

## Handlungsempfehlungen

- **Ziel der Energiepolitik des Bundes.** Ein Ziel der Energiepolitik des Bundes ist, durch geeignete Massnahmen und Rahmenbedingungen zur vermehrten Ausschöpfung der technisch machbaren und betriebswirtschaftlich tragbaren Potentiale zur Verbesserung der Energieeffizienz in der Industrie beizutragen. Sieht man von massiven Subventionierungen entsprechender Anlagen oder wesentlichen Verteuerungen der Energie ab, so lassen sich aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse drei wichtige Ansatzpunkte für zielorientierte staatliche Massnahmen identifizieren:
- **Stossrichtung 1: Bewirken, dass die Verbesserung der Energieeffizienz bei der Planung von Investitionen überhaupt beachtet wird.** Selbst für die meisten der untersuchten energieintensiven Betriebe sind die Energiekosten von untergeordneter Bedeutung<sup>3</sup>. Es ist deshalb keineswegs selbstverständlich, dass die Industrie das Thema Energie(kosten) bei Investitionsplanungen überhaupt beachtet.  
Mit folgenden Massnahmen kann dazu beigetragen werden, das Thema Energieeffizienz bei Investitionsplanungen in der Industrie in die Diskussion zu bringen bzw. in der Diskussion zu halten:
  - **„Agenda setting“**, um Thema Energie gesellschaftlich und politisch stets virulent zu halten
  - **Integration von Vorgaben zur Energieeffizienz in Betriebsmanuals**, die im Falle einer Zertifizierung des Betriebs (ISO 14001) zumindest eine formale Verbindlichkeit erhalten
  - **Höhere Gewichtung des Themas Energie(effizienz) in den Mittelschulen sowie in der beruflichen Aus- und Weiterbildung**
- **Stossrichtung 2: Impulse geben für vertiefte technische Analysen der energieintensiven Produktionsprozesse in der Industrie.** Für die genaue Planung möglicher Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz fehlen in den Betrieben z.T. Messungen der wichtigen Betriebsparameter sowie vertiefte Analysen relevanter Prozesse und Systeme. Eine Unterstützung der

---

<sup>3</sup> Eine Ausnahme bildet die Papierindustrie.

Industrie bei der Durchführung systematischer Prozess- und Systemanalysen würde es den technisch Verantwortlichen in der Folge erleichtern, mit beschränktem Aufwand fundierte - und damit chancenreichere - Projektvorschläge in die übergeordnete Investitionsplanung einzubringen. Ein Interesse der technischen Betriebsleiter an solchen Analysen dürfte dann am ehesten zu erreichen sein, wenn eine fachlich fundierte Analyse ohne Einsatz eigenen Personals und ohne grössere Ausgaben für externe Beratungsleistungen zu erreichen ist.

Vor diesem Hintergrund erscheint es prüfenswert, vermehrt **Studierende der Fachhochschulen bzw. der ETH** für derartige Aufgaben beizuziehen, denn **Semester- und Diplomarbeiten** von Studierenden passen sehr gut ins oben skizzierte Anforderungsprofil der Industrie.

- **Stossrichtung 3: Anreize schaffen, damit Optimierungen der Energieeffizienz im Zusammenhang mit anderen Investitionen realisiert werden.** Investitionen mit dem Hauptziel einer Verbesserung der Energieeffizienz sind in der Industrie eher selten. Wesentlich häufiger sind Investitionen mit anderen Zielsetzungen, bei welchen als erwünschter Nebeneffekt Verbesserungen der Energieeffizienz realisiert werden können.

Die Nutzung dieser Chance des „Trittbrettfahrens“ energetischer Optimierungen kann die Energiepolitik gezielt begünstigen, indem sie Vorgaben zur Verbesserung der Energieeffizienz oder die Regelungen zur Befreiung der Industrie von bestimmten Abgaben so gestaltet, dass **jeder Industriebetrieb seine Schritte zur geforderten Zielerreichung individuell auswählen und damit in optimaler Weise an Investitionen ankoppeln kann, die er aus anderen Gründen ohnehin realisiert**<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Ein Beispiel für ein solches Vorgehen bildet das Energiemodell für Grossverbraucher, wie es das Energiegesetz des Kantons Zürich vorsieht.

## Résumé

### Exposé de la question

- **Rendement énergétique dans l'industrie suisse.** Il semble qu'il subsiste, dans l'industrie, un potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique qui n'est que partiellement épuisé, alors même que les mesures à prendre
  - seraient réalisables en l'état actuel de la technique
  - seraient acceptables du point de vue de la gestion d'entreprise, c.-à-d. qu'on peut en attendre un retour positif sur l'investissement, ou un temps d'amortissement inférieur à la durée de vie de l'installation.
- **Données du problème.** Dans ce contexte, l'intérêt se porte vers deux questions essentielles :
  - **Quelles raisons déterminantes font que des mesures techniquement faisables et économiquement acceptables, pour l'amélioration du rendement énergétique, sont réalisées ou non dans la pratique de l'entreprise ?**
  - **Quelles possibilités s'offrent aux pouvoirs publics pour contribuer à une meilleure exploitation des potentiels d'économie ?**

Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), ces questions ont été examinées dans le cas de la déshydratation et du séchage industriels.

### Déshydratation et séchage en Suisse

- **Processus de base gros consommateur d'énergie.** En 1995, environ 8 % de la consommation énergétique finale de l'industrie suisse ont été consacrés aux
  - processus mécaniques de déshydratation (centrifugeuses, presses, presses à filtre, p.ex.) et surtout aux
  - processus de séchage thermique (séchoirs à convection, séchoirs par contact, séchoirs à rayonnement, p.ex.)y compris les infrastructures de service requises (alimentation en énergie et distribution, réglages/commandes, etc.).
- **Chimie/alimentation/papier/textile.** Les procédés de déshydratation et de séchage n'ont une importance primordiale que dans les quatre branches de la chimie, de l'alimentation, du papier et du textile. Comme le montre la figure 1, le

88 % de la consommation énergétique industrielle pour la déshydratation et le séchage est dû à ces quatre branches.

**Fig. 1 Consommation d'énergie pour la déshydratation et le séchage dans l'industrie (1995)**

Branche	Consommation d'énergie pour la déshydratation et le séchage	
	total	par poste de travail
Chimie	env. 2'500 TJ (=17 %)	env. 30 GJ
Alimentation	env. 1'100 TJ (=8 %)	env. 20 GJ
Papier	env. 7'400 TJ (=51 %)	env. 440 GJ
Textile	env. 1'800 TJ (=12 %)	env. 60 GJ
Autres branches	env. 1'700 TJ (=12 %)	env. 2 GJ
Total pour l'industrie	env. 14'500 TJ (=100 %)	env. 10 GJ

- **Potentiel d'économies non exploité.** Il semble que le potentiel techniquement réalisable et économiquement acceptable de réduction de la consommation énergétique spécifique<sup>1</sup> pour la déshydratation et le séchage représente environ 15 % de la valeur actuelle, dans les 10 – 15 prochaines années. Si l'on tient compte du comportement des entreprises en matière d'investissements (cf. ci-dessous), le potentiel d'économie réalisable devrait être de l'ordre de 10 à 15 %.

## Conception de l'analyse

- **Conduite d'une étude de cas.** Pour mettre à jour les raisons déterminant l'acceptation ou le rejet de mesures pour améliorer le rendement énergétique, il faut analyser des processus concrets de prise de décision dans l'entreprise. Dans ce but, des entretiens intensifs ont été menés avec les directeurs techniques de 20 entreprises des branches de la chimie, de l'alimentation, du papier et du textile. Globalement on a donc
  - examiné 28 projets d'investissements relatifs aux économies d'énergie, que les entreprises ont envisagé, mais qui n'ont pas été réalisés, bien qu'ils fussent réalisables techniquement et acceptables économiquement
  - analysé 49 projets réalisés dans les domaines de la déshydratation et du séchage.

<sup>1</sup> Consommation énergétique spécifique = consommation d'énergie par unité produite

## Entraves à l'amélioration des rendements énergétiques

- **Planification des investissements dans l'industrie.** Normalement, le total des investissements proposés par les différentes unités d'une entreprise est bien supérieur au montant disponible pour la période considérée. Le programme finalement réalisé résultera donc d'une sélection en plusieurs phases. La priorité ira d'une part aux investissements obligés (p.ex. dépenses de renouvellement ou pour satisfaire à des prescriptions de sécurité) et d'autre part, aux projets qui se distinguent par un rapport coût/utilité particulièrement favorable.
- **Rejet de certains investissements pourtant réalisables dans l'optique technique et économique.** L'étude des 28 projets d'accroissement du rendement énergétique non retenus montre très clairement que la plupart d'entre eux ont été rejetés en raison du fait qu'ils auraient rapporté moins que d'autres. Ce motif a été explicitement invoqué dans 11 cas par les dirigeants interrogés, comme l'indique la figure 2. Dans 17 cas, on a fait valoir un bénéfice économique insuffisant, ce qui veut dire tout simplement que les montants à disposition ont été affectés à des investissements plus importants ou plus attrayants dans l'optique de l'économie d'entreprise. La figure 2 montre encore que les "**faiblesses absolues**" de certains projets (crainte de porter atteinte à la qualité, pénurie de personnel qualifié) jouent un rôle nettement moins déterminant que les "**faiblesses relatives**" (par rapport à d'autres projets) qui viennent d'être mentionnées.

**Fig. 2 Motifs de rejet de certains investissements pourtant réalisables sur les plans technique et économique**

Motifs de rejet des investissements	Nombre de mentions (... sur 28 projets)
<b>„ Faiblesse relative “ du projet par rapport à des projets concurrents</b>	
• Autres priorités dans l'affectation des fonds disponibles	11 (= 39%)
• Retour sur investissement trop faible; amortissement trop long; rendement insuffisant	17 (= 61%)
• Gains modestes, car dépenses d'énergie peu importantes pour l'entreprise	4 (= 14%)
• Gains modestes, car rendement énergétique de l'entreprise déjà élevé	5 (= 18%)
<b>„ Faiblesses absolues “ du projet</b>	
• Crainte de baisse de qualité ou de moindre fiabilité	3 (= 11%)
• Pénurie de personnel qualifié; capacité d'innovation épuisée	4 (=14%)

Source: enquêtes BHP

## Facteurs d'amélioration des rendements énergétiques

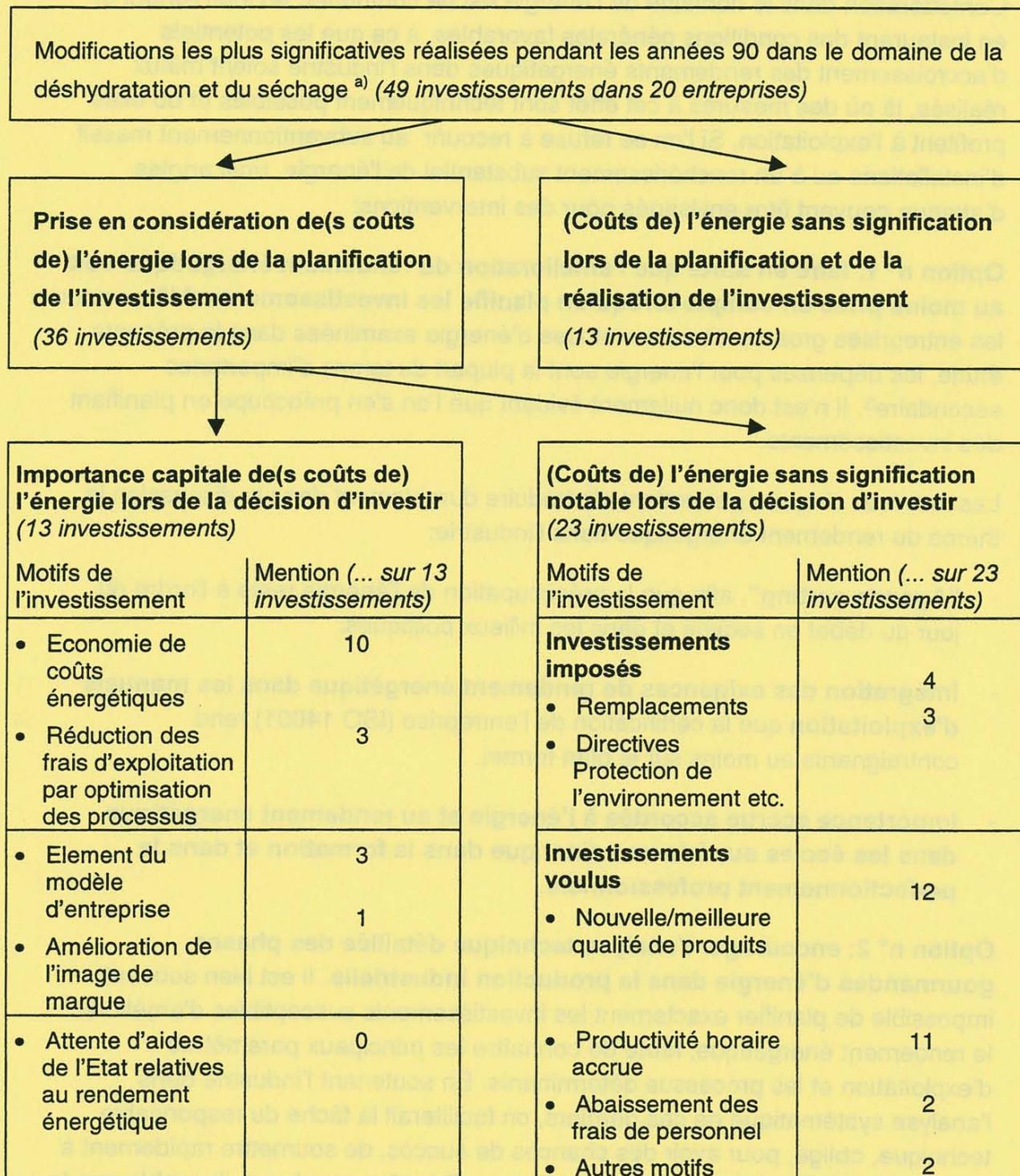
- **Statut de l'énergie dans les investissements réalisés dans le domaine de la déshydratation et du séchage** - Au cours des 10 années écoulées, les entreprises examinées ont apporté des modifications importantes aux procédés de déshydratation et de séchage ainsi qu'aux infrastructures nécessaires. Pour 36 (= 74 %) des 49 investissements considérés comme particulièrement importants par les directeurs techniques interrogés, le rendement énergétique a été pris en considération lors de la planification de l'investissement, bien que le coût de l'énergie ne constitue, dans la plupart des cas, pas plus de 1 à 4 % du chiffre d'affaire des unités de production examinées<sup>2</sup>, qui sont à classer parmi les gros consommateurs d'énergie (cf. fig. 3). Le rendement énergétique joue à vrai dire un rôle très variable lors de la décision proprement dite d'investir :
  - Pour 13 (= 27%) de ces investissements, le rendement énergétique, et notamment les économies réalisables au niveau des coûts énergétiques spécifiques, ont eu une importance primordiale lors de la prise de décision d'investir.
  - Pour les 23 autres investissements (= 47%), le rendement énergétique a été pris en considération lors de la planification de l'investissement, même s'il ne représentait pas la raison première d'investir. Les investissements nécessaires et les investissements destinés à améliorer la qualité de la production, ou la productivité par unité de temps, venaient d'abord, investissements qui ont pu permettre la réalisation – à titre d'effet secondaire souhaité – d'améliorations du rendement énergétique.

Cette dernière catégorie, numériquement significative, présente un intérêt particulier du point de vue des impulsions que l'Etat pourrait donner pour l'amélioration du rendement énergétique. Elle montre que **les chances de réalisation des optimisations énergétiques sont particulièrement grandes quand elles peuvent être rattachées „pour le même prix“, en quelque sorte, à des investissements qui doivent de toute façon être réalisés.**

---

<sup>2</sup> Les seules entreprises étudiées qui enregistrent des valeurs plus élevées sont celles de l'industrie du papier.

**Fig. 3 Importance de l'énergie lors de la réalisation d'investissements dans le domaine de la déshydratation et du séchage**



a) Le degré d'importance des investissements est déterminé par l'estimation des directeurs techniques interrogés

Source: enquêtes BHP

## Recommandations

- **Objectif de la politique fédérale de l'énergie.** L'un des objectifs de la Confédération dans le domaine de l'énergie est de contribuer, en intervenant et en instaurant des conditions générales favorables, à ce que les potentiels d'accroissement des rendements énergétiques dans l'industrie soient mieux réalisés, là où des mesures à cet effet sont techniquement possibles et où elles profitent à l'exploitation. Si l'on se refuse à recourir au subventionnement massif d'installations ou à un renchérissement substantiel de l'énergie, trois angles d'attaque peuvent être envisagés pour des interventions:
- **Option n° 1: faire en sorte que l'amélioration du rendement énergétique soit au moins prise en compte lorsqu'on planifie les investissements.** Même pour les entreprises grosses consommatrices d'énergie examinées dans la présente étude, les dépenses pour l'énergie sont la plupart du temps d'importance secondaire<sup>3</sup>. Il n'est donc nullement évident que l'on s'en préoccupe en planifiant des investissements.

Les mesures ci-après permettent d'introduire durablement dans la discussion le thème du rendement énergétique dans l'industrie:

- **"Agenda setting"**, afin que la préoccupation de l'énergie reste à l'ordre du jour du débat en société et dans les milieux politiques.
- **Intégration des exigences de rendement énergétique dans les manuels d'exploitation** que la certification de l'entreprise (ISO 14001) rend contraignants au moins sur le plan formel.
- **Importance accrue accordée à l'énergie et au rendement énergétique dans les écoles supérieures ainsi que dans la formation et dans le perfectionnement professionnels.**
- **Option n° 2: encourager l'analyse technique détaillée des phases gourmandes d'énergie dans la production industrielle.** Il est bien souvent impossible de planifier exactement les investissements susceptibles d'améliorer le rendement énergétique, faute de connaître les principaux paramètres d'exploitation et les processus déterminants. En soutenant l'industrie dans l'analyse systématique de ces derniers, on faciliterait la tâche du responsable technique, obligé, pour avoir des chances de succès, de soumettre rapidement à ses supérieurs des projets d'investissements. Pour le convaincre, il semble que le meilleur argument serait la possibilité d'obtenir une analyse étayée sans impliquer son personnel ni dépenser beaucoup en mandats à des conseillers externes.

---

<sup>3</sup> Exception faite de l'industrie du papier

Cela étant, il vaudrait la peine de faire appel plus fréquemment à des **étudiants des hautes écoles spécialisées et des EPF**, dont les travaux semestriels et de diplôme répondraient parfaitement au profil d'exigences qui vient d'être esquissé.

- **Option n° 3: créer des incitations telles que l'on en vienne à optimiser les rendements énergétiques dans la foulée d'investissements consentis à d'autres fins.** Il est assez rare que l'industrie investisse avec pour objectif principal l'amélioration du rendement énergétique. On poursuit généralement d'autres buts, avec pour effet connexe souhaité les économies d'énergie. Il appartient au politique de comprendre l'effet d'aubaine que cela représente et d'en tirer parti: **concevoir les exigences imposées à l'amélioration du rendement énergétique ou les réglementations permettant d'exonérer une entreprise de certaines taxes de telle sorte que chaque entreprise puisse choisir elle-même la voie qui mène au but et profiter au mieux des investissements réalisés pour d'autres raisons<sup>4</sup>.**

---

<sup>4</sup> Cette démarche est bien illustrée par le modèle énergétique pour gros consommateurs prévu par la loi sur l'énergie du canton de ZH.

# 1 Einleitung

- **Potential zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Schweizer Industrie.** 1995 lag der Energieverbrauch der Schweizer Industrie bei rund 183'000 TJ<sup>1</sup>. Dies entspricht ca. 21% des schweizerischen Endenergieverbrauchs<sup>2</sup>. Verschiedene Studien zeigen, dass die Industrie den Energieverbrauch pro produzierte Einheit (= spezifischer Energieverbrauch) in den letzten Jahren und Jahrzehnten in verschiedenen Bereichen zu verringern vermochte<sup>3</sup>. Gleichwohl besteht bei verschiedenen Produktionsschritten ein Potential<sup>4</sup> zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz, welches nur teilweise ausgeschöpft wird (vgl. Abb. 1-1), obwohl die betreffenden Massnahmen
  - beim heutigen Stand der Technik machbar wären
  - betriebswirtschaftlich tragbar wären, d.h. einen positiven Return on investment erwarten lassen bzw. eine Pay-back-Zeit aufweisen, die kürzer ist als die Lebensdauer der Anlagen<sup>5</sup>.

---

1 Spezialauswertungen der Szenarien zur industriellen Energienachfrage von BASICS 1996

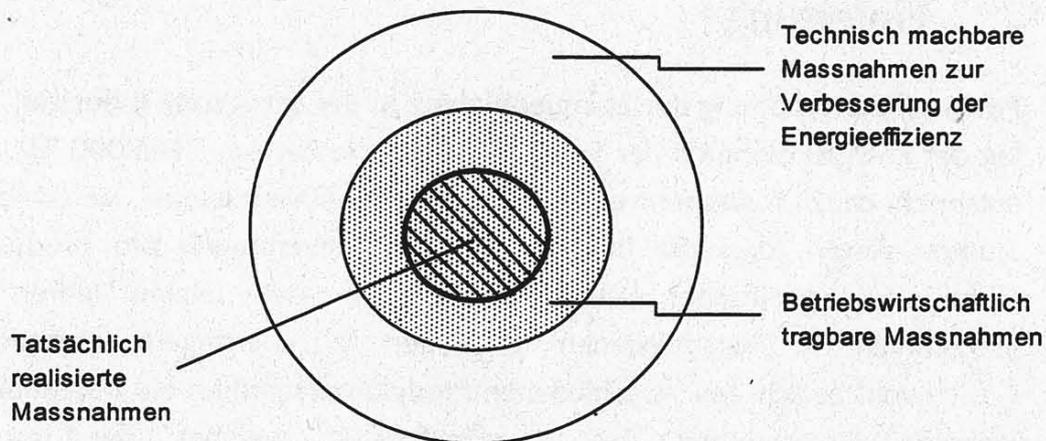
2 Anteil 1990 gemäss PROGNOSE 1996, S.5

3 vgl. z.B. BASICS 1996, S. Z5; SCHWEIZERISCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN 1999, S.34

4 vgl. z.B. ECOPLAN 1998, S.4; SCHWEIZERISCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN 1999, S. 35-37

5 ECOPLAN (1998, S.5) bezeichnen das entsprechende Sparpotential als „nichtausgeschöpftes wirtschaftliches Sparpotential“. Vgl. auch Typologie von WEBER ET AL. 1999, S.44

Abb. 1-1 Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz



- **Fragestellung.** Vor diesem Hintergrund interessieren zwei Kernfragen:
  - Welche Gründe sind in der unternehmerischen Praxis dafür massgebend, ob technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz realisiert bzw. nicht realisiert werden?
  - Welche Ansatzpunkte bestehen für die öffentliche Hand, um zu einer besseren Ausschöpfung dieser Einsparpotentiale beizutragen?
- **Beispiel Entwässerung und Trocknung.** Gemäss Vorgaben des Bundesamtes für Energie sind die obigen Fragen am Beispiel der industriellen Entwässerung und Trocknung zu prüfen.
- **Aufbau des Berichtes.** Das folgende Kapitel 2 zeichnet ein Kurzporträt zur Entwässerung und Trocknung in der Schweizer Industrie. Kapitel 3 zeigt, welche Faktoren die Realisierung technisch machbarer und betriebswirtschaftlich tragbarer Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz in der unternehmerischen Praxis fördern bzw. hemmen. Auf dieser Grundlage werden in Kapitel 4 drei Stossrichtungen zur Diskussion gestellt, mit welchen die öffentliche Hand Impulse zur besseren Ausschöpfung von Energieeinsparpotentialen geben könnte.

## 2 Entwässerung und Trocknung in der Schweizer Industrie

### 2.1 Systematik der Entwässerungs- und Trocknungsverfahren<sup>6</sup>

- **Natürliche und technische Entwässerung und Trocknung.** Unter Entwässerung und Trocknung wird die Trennung von Wasser oder Lösungsmitteln auf der einen Seite und festen (oder flüssigen) Stoffen bzw. Stoffgemischen auf der anderen Seite verstanden. Zielsetzungen von Entwässerungs- und Trocknungsprozessen sind:
  - Herstellung und Verbesserung von Produkten
  - Verbesserung der Handhabung und Haltbarkeit von Stoffen
  - Wiedergewinnung von Stoffen
  - Trennung von Produkt und Ballaststoffen

Entwässerungs- und Trocknungsvorgänge benötigen die Zufuhr von Energie, um eine Trennung des Trocknungsgutes von der Flüssigkeit zu erreichen. Die Systematik der Entwässerungs- und Trocknungsverfahren unterscheidet zwischen

- natürlichen und
- technischen Verfahren.

Während bei technischen Verfahren Energie künstlich zugeführt wird, nutzen die natürlichen Verfahren die Schwerkraft (Absetzen, Sieben) bzw. die Umgebungswärme (Sonne, Luft). Der praktische Einsatz der natürlichen Entwässerung und Trocknung ist jedoch meist an einschränkende stoffliche, physikalische und betriebliche Randbedingungen gebunden.

---

<sup>6</sup> Die hier verwendete Systematik basiert im wesentlichen auf PROGNOSES/IBP 1987, Teil 1.

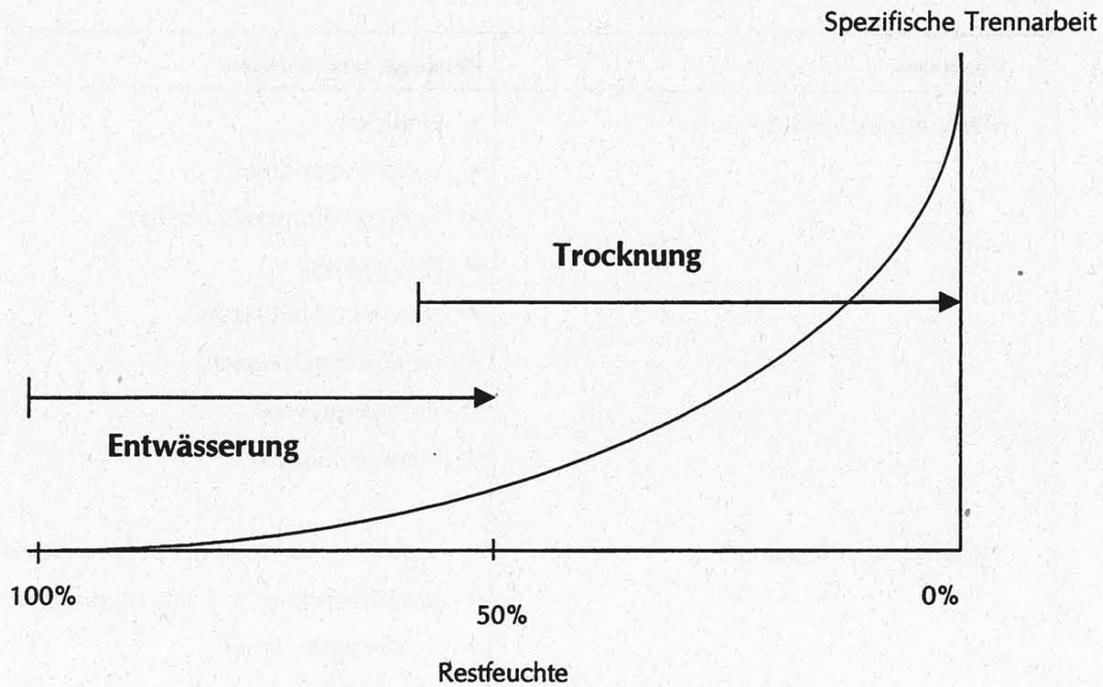
- **Entwässerung versus Trocknung.** Technische Verfahren werden unterschieden nach der Form der zugeführten Energie in
  - **Mechanische Entwässerung:** Entfernen von Flüssigkeit aus feuchten Stoffen oder Stoffgemischen unter Einwirkung mechanischer Energie (Druck, Zentrifugalkraft etc.). Dieses Vorgehen wird für die Vorentwässerung und -entfeuchtung bei Stoffen mit hohem Flüssigkeitsanteil verwendet.
  - **Thermische Trocknung:** Entfernen von Flüssigkeit aus feuchten Stoffen oder Stoffgemischen durch Verdunstung oder Verdampfung unter Einsatz thermischer Energie. Thermische Verfahren werden in der Regel für das Entfernen von Flüssigkeit aus Stoffen mit relativ geringem Flüssigkeitsanteil angewendet.

Thermische Trocknungsverfahren werden in der Regel ab einer Restfeuchte von unter 50% eingesetzt. Oft wird eine mechanische Vorentwässerung mit einer thermischen Trocknung kombiniert. Da die spezifische Trennarbeit<sup>7</sup> bei der mechanischen Entwässerung um einen Faktor 100 bis 1'000 kleiner ist als bei der thermischen Trocknung, sollten aus Gründen der Energieeffizienz möglichst niedrige Restfeuchten allein mit mechanischen Verfahren angestrebt werden. Im Grenzbereich zu thermischen Verfahren steigt die Trennarbeit aber auch bei mechanischen Verfahren stark an, und die Gutsbelastung nimmt deutlich zu, so dass den mechanischen Verfahren bei Restfeuchten unter 50 bis 60 Prozent Grenzen gesetzt sind. Abbildung 2-1 zeigt den Einsatzbereich der verschiedenen technischen Verfahren und die spezifische Trennarbeit in Abhängigkeit von der Restfeuchte im Gut.

---

<sup>7</sup> spezifische Trennarbeit = Energiezufuhr pro kg entfernte Flüssigkeit

Abb. 2-1 Typische Einsatzbereiche technischer Entwässerungs- und Trocknungsverfahren für wasserfeuchte Güter



Quelle: Darstellung RAPP

- **Entwässerungs- und Trocknungsverfahren.** Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen technischen Verfahren für Entwässerung und Trocknung (vgl. Abb. 2-2), die in den einzelnen Industriebranchen in vielfältiger Weise eingesetzt werden (vgl. Abb. 2-3).

Abb. 2-2 Typologie der Entwässerungs- und Trocknungsverfahren

Verfahren	Beispiele von Anlagen
Mechanische Entwässerung:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eindicker</li><li>• Vakuum-Bandfilter</li><li>• Vakuum-Trommeldrehfilter</li><li>• Bandpressen</li><li>• Membranfilterpressen</li><li>• Kammerfilterpressen</li><li>• Zylinderpressen</li><li>• Filterzentrifugen</li></ul>
Thermische Trocknung:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Konvektionstrockner (z.B. Sprühtrockner)</li><li>• Kontaktstrockner (z.B. Vakuumtrockner)</li><li>• Strahlungstrockner</li><li>• Mikrowellentrockner</li><li>• Gefriertrockner</li></ul>

Quelle: Zusammenstellung RAPP

Abb. 2-3 Entwässerung und Trocknung in verschiedenen Branchen

Branche	Trocknungsgut	Häufig eingesetzte Entwässerungs- und Trocknungsanlagen
Energie- u. Wasserversorgung	Klärschlamm	Eindicker, Entwässerung (z.B. Zentrifugen, Membranfilterpressen), Direkttrocknung (z.B. im Rauchgas einer Verbrennung)
Nahrungsmittel	Getreide	Diverse Verfahren u. Trocknerarten, basieren aber alle darauf, dass ruhende od. bewegte Körmerschicht von kalter oder (leicht) erwärmter Luft durchströmt wird
	Pflanzliche Futtermittel	Heisslufttrockner (Trommeltrockner, 60-100 °C, z.T. mit mech. Vorentwässerung)
	Tabak	Lufttrocknung und Heisslufttrocknung
	Teigwaren	Hochtemperaturtrocknung
	Stärke	Pneumatische Trocknung und Walzentrocknung
	Kristallzucker	Trommeltrockner und Etagentrockner
	Kaffee	Gefriertrocknung, Sprühtrocknung
	Fleisch	Gefriertrocknung, Vakuumtrocknung, Sprühtrocknung, Trocknung in Klimakammern
	Milch u. Milchprodukte	Sprühtrockner
Textilindustrie	Fasern	Schleudern, Kammertrockner
	Garne	Drehzylinder-Trockner, Kammertrockner
	Gewebe	Mech. Vorentwässerung, Prallstrahlrocknung
		Veredeln: Verschiedene Verfahren
Bekleidungsindustrie	Fertigartikel	Verschiedene Verfahren
Papierindustrie	Zellstoff	Komplexe Anlagen mit versch. Trocknungsstufen (mit mechanischen und therm. Stufen)
	Papier	Verschiedene Technologien: Mechanische Entwässerung sowie Konvektionstrocknung, Kontaktrocknung, Zylindertrocknung
Druck	Farben (nach Aufdruck)	je nach Druckverfahren unterschiedliche Trocknungsverfahren
Kunststoff, Kautschuk	Kunststoff	Sprühtrockner sowie zahlreiche weitere Trocknertypen
	Leder	Vakuumtrockner, Förderbandtrockner (Prallstrahldüsen), Überstromtrockner
Chemie	Zahlreiche Grundstoffe und Produkte	Vielzahl von Trocknungsverfahren, z.T. kombiniert mit chemischen Prozessschritten
Steine und Erden	Gips und Gipsprodukte	Kammer- und Kanaltrockner
	Kalk	Sprühtrockner
Metallindustrie	Keramische Güter	Kammer- und Förderbandtrockner, Prallstrahlrockner
	Oberflächen, Lacke	Konvektions- und Strahlungsöfen, Elektronen- und UV-Strahlungstrockner (Durchlaufanlagen)
Maschinen	Oberflächen, Lacke	Konvektions- und Strahlungsöfen, Elektronen- und UV-Strahlungstrockner (Durchlaufanlagen)
Elektronik	Oberflächen, Lacke	Konvektions- und Strahlungsöfen, Elektronen- und UV-Strahlungstrockner (Durchlaufanlagen)
Uhren u. Bijouterie	Oberflächen	Konvektions- und Strahlungsöfen, Elektronen- und UV-Strahlungstrockner (Durchlaufanlagen)
Holz, sonstiges Gewerbe	Schnittholz	Freilufttrocknung, Umluft-Kammertrocknung, Vakuumtrocknung, Hochfrequenzrocknung (4 bis 40 MHz), Mikrowellentrocknung (900 bis 2500 MHz)
	Furniere	Rollenbahntrockner, Bandtrockner, Bügeltrockner
	Holzspäne (Spanplatten)	Düsenrohrrockner, Trommeltrockner, Röhrenbündeltrockner (indirekt beheizte Rotationstrockner)

Quelle: Spezialauswertungen der Szenarien zur industriellen Energienachfrage von BASICS 1996

## 2.2 Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung in der Schweizer Industrie

- **Energieintensiver Grundprozess.** Gemäss den neusten vorliegenden Analysen<sup>8</sup> entfielen 1995 total 8% (= 14'500 TJ) des Endenergieverbrauchs der schweizerischen Industrie auf Entwässerungs- und Trocknungsprozesse, wobei der Verbrauchsanteil der Trocknung absolut dominant ist (vgl. Abbildung 2-4).

**Abb. 2-4 Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung in der Schweizer Industrie (1995)**

Branchen	Energieverbrauch total TJ/Jahr	Energieverbrauch Produktionsprozesse TJ/Jahr	Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung	
			TJ/Jahr	in % des totalen Energieverbrauchs
Energie- und Wasserversorgung	19'081	18'393	67	< 1%
Nahrungsmittel	14'747	12'237	1'124	8%
Textil	10'679	9'106	1'823	17%
Bekleidung	720	276	18	3%
Papier	19'150	18'089	7'376	39%
Druck	3'291	915	21	1%
Kunststoff	3'031	1'919	215	7%
Chemie	30'428	25'646	2'539	8%
Steine und Erden	29'824	28'894	889	3%
Metall	15'074	11'884	138	1%
Maschinen/Apparate	10'343	4'177	67	1%
Elektrotechnik	5'848	1'839	11	< 1%
Uhren	1'765	408	*	*
Holz / sonstiges Gewerbe	7'228	3'204	195	3%
Bau	11'876	9'059	*	*
<b>Total Industrie</b>	<b>183'085</b>	<b>146'046</b>	<b>14'483</b>	<b>8%</b>

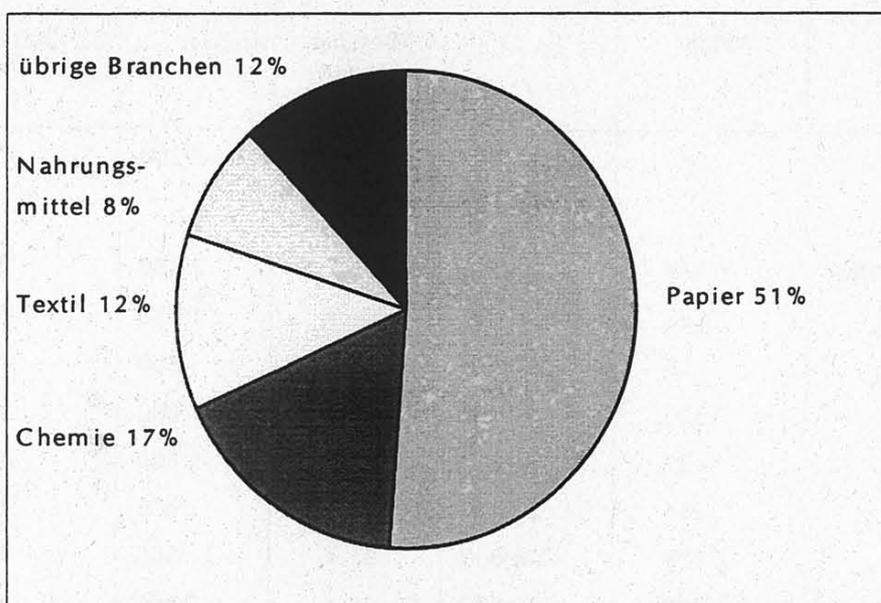
\* keine Angaben vorhanden

Quelle: Spezialauswertungen der Szenarien zur industriellen Energienachfrage von BASICS 1996

<sup>8</sup> Spezialauswertungen der Szenarien zur industriellen Energienachfrage von BASICS 1996

- **Chemie / Nahrungsmittel / Papier / Textil.** Gemäss Abbildung 2-4 haben Entwässerungs- und Trocknungsprozesse in den vier Industriezweigen Papier, Textil, Chemie und Nahrungsmittel die grösste Bedeutung<sup>9</sup>. Wie Abbildung 2-5 zeigt, entfallen allein 51% des Energieverbrauchs für Entwässerung und Trocknung auf die Papierindustrie. Alle vier genannten Branchen verbrauchen zusammen rund 88% der für industrielle Entwässerung und Trocknung eingesetzten Energie.

**Abb. 2-5** Anteile einzelner Industriezweige am Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung (1995)



Quelle: Spezialauswertungen der Szenarien zur industriellen Energienachfrage von BASICS 1996

- **Stellenwert des Energieverbrauchs für Entwässerung und Trocknung.** Wird der Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung der Beschäftigtenzahl bzw. der Wertschöpfung in den einzelnen Industriezweigen gegenübergestellt (vgl. Abbildung 2-6), so bestätigt sich die spezielle Position der Papierindustrie. Die Papierindustrie weist pro Arbeitsplatz bezogen auf die erzielte Wertschöpfung den mit Abstand höchsten Energieeinsatz für

<sup>9</sup> In der Kunststoffindustrie wird ebenfalls ein beträchtlicher Anteil der Energie für Entwässerung und Trocknung verwendet. Allerdings ist die absolute Grösse des Energieeinsatzes relativ gering.

Entwässerung und Trocknung auf. Auf den Plätzen 2 bis 5 folgen die Branchen Textil, Chemie, Steine und Erden sowie Nahrungsmittel.

**Abb. 2-6 Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung im Vergleich zur Zahl der Beschäftigten und zur Wertschöpfung (1995)**

Branchen	Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung  TJ/Jahr	Beschäftigte	Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung im Vergleich zur Beschäftigtenzahl  GJ/Beschäftigten und Jahr	Wertschöpfung  Mio Fr.	Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung im Vergleich zur Wertschöpfung  GJ/1000 Fr. und Jahr
Energie- und Wasserversorgung	67	33'700	2.0	7'200	0.01
Nahrungsmittel	1'124	72'000	15.6	7'400	0.15
Textil	1'823	28'100	64.9	1'900	0.96
Bekleidung	18	23'800	0.8	800	0.02
Papier	7'376	16'600	444.3	1'600	4.61
Druck	21	63'500	0.3	5'500	0.00
Kunststoff	215	29'400	7.3	2'200	0.10
Chemie	2'539	76'000	33.4	11'300	0.22
Steine und Erden	889	30'800	28.9	2'700	0.33
Metall	138	96'200	1.4	7'900	0.02
Maschinen/ Apparate	67	152'000	0.4	13'700	0.00
Elektrotechnik	11	118'000	0.1	12'000	0.00
Uhren	*	36'000	*	3'900	*
Holz / sonstiges Gewerbe	195	83'500	2.3	5'700	0.03
Bau	*	304'900	*	23'300	*
Total Industrie	14'483	1'164'500	12.4	107'100	0.14

\* keine Angaben vorhanden

Quelle: Berechnungen RAPP auf Basis der Szenarien zur industriellen Energienachfrage von BASICS 1996

## 2.3 Potential zur Erhöhung der Energieeffizienz der industriellen Entwässerung und Trocknung in der Schweiz

- **Potential technisch machbarer und betriebswirtschaftlich tragbarer Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz.** Gemäss Kapitel 1 ist davon auszugehen, dass in der Schweizer Industrie ein unausgeschöpftes Potential technisch machbarer und betriebswirtschaftlich tragbarer Massnahmen zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs<sup>10</sup> besteht. Vor diesem Hintergrund zeigt
  - Kapitel 2.31 mögliche Ansatzpunkte für Verbesserungen der Energieeffizienz im Bereich Entwässerung und Trocknung
  - Kapitel 2.32, in welcher Grössenordnung die Energie-Einsparpotentiale für die Entwässerung und Trocknung liegen.

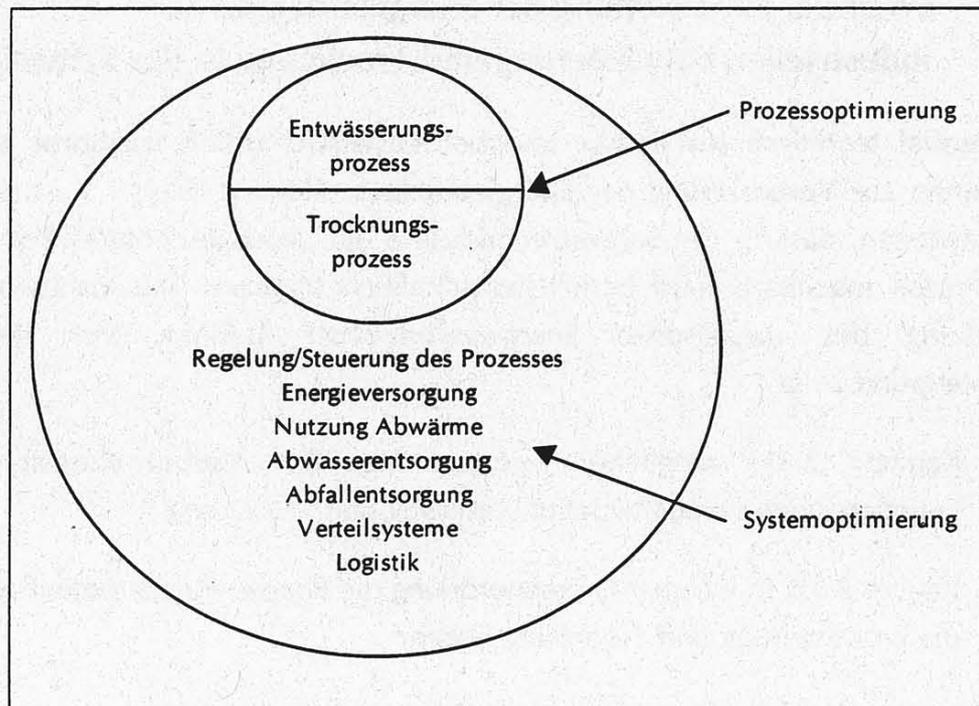
### 2.31 Ansatzpunkte für Verbesserungen der Energieeffizienz

- **Prozessoptimierung und Systemoptimierung.** Für energetische Verbesserungen von Entwässerungs- und Trocknungsverfahren bestehen im Grundsatz zwei technische Ansatzpunkte (vgl. Abbildung 2-7):
  - Prozessoptimierung
  - Systemoptimierung

---

<sup>10</sup> Spezifischer Energieverbrauch = Energieverbrauch pro produzierte Einheit

Abb. 2-7 Prozess- und Systemoptimierung



Quelle: Darstellung RAPP

- **Prozessoptimierung.** Ziel der Prozessoptimierung ist die Minimierung des spezifischen Energieverbrauchs durch die Auswahl optimaler Verfahren, die Verbesserung der Verfahrenstechnik und/oder die zweckmäßige Kombination von verschiedenen Verfahrensprinzipien. Im Bereich der Entwässerung und Trocknung bleiben aus technischer Sicht folgende Ansatzpunkte festzuhalten, denen je nach betrachtetem Industriebetrieb eine unterschiedliche Bedeutung zukommen dürfte:
  - **Auswahl geeigneter Verfahren:** Bei der Wahl der geeigneten Verfahren müssen zwei Zielrichtungen unterschieden werden. Während bei den geeigneten mechanischen Verfahren das Erreichen geringer Restfeuchten bei einer vorgegebenen Trennschärfe im Vordergrund steht, ist bei den einzusetzenden thermischen Verfahren eine möglichst geringe spezifische Trennarbeit anzustreben.

Das folgende Beispiel zeigt, dass bei Trocknungsprozessen aus energetischer Sicht bedeutende Unterschiede zwischen verschiedenen möglichen Verfahren bestehen können: Die Trocknungsaufgabe besteht darin, mit Wasser benetzte Keramikbauteile zu trocknen. Eine Charge hat

vor der Trocknung eine Masse von 1'775 kg, nach der Trocknung von 1'700 kg. Mit anderen Worten: Je Charge sind 75 kg Wasser zu verdampfen. Die Trocknungsdauer je Charge ist auf maximal eine Stunde beschränkt und als Energieträger steht nur elektrische Energie zur Verfügung. Wie der Vergleich in Abbildung 2-8 zeigt, kann mit einem Mikrowellenkammertrockner ein um 40% tieferer spezifischer Energieverbrauch erreicht werden als mit einem Konvektionskammertrockner. Ein Grund für diesen grossen Unterschied liegt darin, dass im Konvektionskammertrockner die gesamte Trockenmasse mitaufgewärmt werden muss, nicht aber im Mikrowellenkammertrockner.

**Abb. 2-8 Spezifischer Energieverbrauch zweier unterschiedlicher Trocknungsverfahren bei gleicher Trocknungsaufgabe<sup>a)</sup>**

	Konvektionskammertrockner	Mikrowellenkammertrockner
Heizleistung / Mikrowellenleistung	200 kW	85 kW
Endenergieverbrauch pro Charge	226.5 kWh	132.3 kWh
Spezifischer Endenergieverbrauch	3.0 kWh/kg	1.8 kWh/kg

Quelle: ILMBERGER / PFITZNER 1994

a) Es liegen keine Angaben zum erreichten Optimierungsgrad der beiden betrachteten Anlagen vor.

- **Verbesserung der Verfahrenstechnik:** Die Anwendung mechanischer Entwässerungsverfahren wird in der Praxis durch Überschreitung zulässiger Gutsbelastungen und/oder wirtschaftlicher Entwässerungszeiten begrenzt. Ansatzpunkte für eine Verfahrensoptimierung sind eine Verbesserung der direkten Kraftübertragung auf die Wassermoleküle bzw. die Erhöhung der treibenden Kraft sowie eine Vorkonditionierung des Gutes durch chemische Verfahren (Flockung, Fällung) zur Verbesserung und Beschleunigung des Abscheideprozesses.

Die spezifische Trennarbeit thermischer Verfahren lässt sich durch eine Verbesserung des Verfahrenswirkungsgrades verringern. Dieser Wirkungsgrad setzt sich zusammen aus dem Umsetzungswirkungsgrad bei der Bereitstellung der Nutzenergie und dem Nutzungsgrad dieser Energie für das Entfernen von Wasser.

- **Kombination von Verfahrensprinzipien:** Aus der Systematik der Entwässerungs- und Trocknungsverfahren geht hervor, dass sich die möglichen Einsatzbereiche der Verfahrensprinzipien und Verfahrensgruppen überschneiden. Andererseits lassen sich, insbesondere in Abhängigkeit von der Restfeuchte, typische Anwendungsbereiche erkennen (vgl. Abb. 2-1). Betrachtet man die Unterschiede der spezifischen Trennarbeiten, so wird deutlich, dass eine optimale Kombination unterschiedlicher Verfahrensprinzipien ein bedeutendes Potential an Energieeinsparung aktivieren kann.
- **Systemoptimierung.** Deutlicher noch als bei der Konstruktion und Auswahl der Entwässerungs- und Trocknungsaggregate erfordert eine Systemoptimierung im Rahmen einer integrierten Energiewirtschaft eine weitreichende Berücksichtigung des gesamten Produktionsprozesses. Wesentliche Aspekte, die für die Systemoptimierung Bedeutung haben, sind
  - klassische Sparmassnahmen wie
    - \* Wärmedämmung der Trockner und Leitungen
    - \* Wärmerückgewinnung soweit das Temperaturniveau der Abwärme und die zeitliche Kongruenz zwischen Abwärmeeinfall und Wärmebedarf dies erlauben; ev. Einsatz industrieller Wärmepumpen
    - \* Wirkungsgraderhöhung der Wärmebereitstellung (Dampfkessel, Heizkessel)
    - \* besserer Wirkungsgrad für Antriebsmotoren, Ventilatoren
  - Verbesserungen der Regelung und Steuerung, d.h. präzise Messung der Betriebsparameter, wie Feuchte und Temperatur, im Hinblick auf eine optimierte und transparente Betriebsführung.
  - Verbesserungen der Betriebsinfrastruktur bei der Instandhaltung und bei Reinvestitionen (Einsatz neuer Technologien und energiesparender Anlageteile).
  - Einsetzen und Optimieren von Wärmerückgewinnungsanlagen in Prozessen und im innerbetrieblichen Bereich auf verschiedenen Temperaturniveaus (exergetische Nutzung).

- Exergetische Beurteilung des Verfahrens und Nutzung der Energie in verschiedenen Stufen (im Prozess- und innerbetrieblichen Bereich).
- Wärme-Kraft-Kopplung (Eigenstromerzeugung) und Wärmepumpen
- Optimieren des zeitlichen Verlaufes der Produktions-, Trocknungs- und Wärmerückgewinnungsprozesse bei der Wahl der Prozesse

In den letzten 10 Jahren ist der Aspekt der Integration der Trocknung in die betriebliche Energiewirtschaft zunehmend berücksichtigt worden. Insbesondere in Branchen mit einer relativ geringen Anzahl verschiedener Produkte bzw. Verfahrensschritte (z.B. Papierproduktion) liegen bereits vielfältige Erfahrungen vor, die im Grundsatz auch auf andere Produktionsbereiche übertragbar scheinen.

- **Grenzen der betriebswirtschaftlichen Tragbarkeit.** Die Ausschöpfung der technisch machbaren Einsparpotentiale ist betriebswirtschaftlich in vielen Fällen nicht tragbar. Wie Abbildung 2-9 für das oben erwähnte Beispiel zeigt, ist der Einsatz eines Mikrowellenkammertrockners anstelle eines Konvektionskammertrockners trotz bedeutenden Einsparungen der Energiekosten betriebswirtschaftlich uninteressant.

**Abb. 2-9 Kostenvergleich zweier unterschiedlicher Trocknungsverfahren bei gleicher Trocknungsaufgabe**

	Konvektionskammer-trockner	Mikrowellenkammer-trockner
Heizleistung / Mikrowellenleistung	200 kW	85 kW
Endenergieverbrauch pro Charge	226.5 kWh	132.3 kWh
Spezifischer Endenergieverbrauch	3.0 kWh/kg	1.8 kWh/kg
Investitionskosten	87'000.- CHF	459'000.- CHF
Jahreskosten bestehend aus:		
Kapitalkosten	20'300.- CHF/Jahr	106'000.- CHF/Jahr
- Amortisationsdauer 5 Jahre		
- Zins 5 %		
- Annuität 23.1 %		
Betriebskosten bei 1'000 Chargen pro Jahr		
- Strom Grundkosten 11.- CHF/kW Mt.	26'400.- CHF/Jahr	11'200.- CHF/Jahr
- Strom Arbeitspreis 10.0 Rp./kWh	23'000.- CHF/Jahr	15'000.- CHF/Jahr
Jahreskosten bei 1'000 Chargen pro Jahr	69'700.- CHF/Jahr	132'200.- CHF/Jahr

Quelle: Berechnungen RAPP AG auf Basis von ILMBERGER/PFITZNER 1994

### 2.32 Grössenordnung der Energiesparpotentiale

- **Szenarien und Analysen zu Energieeinsparpotentialen.** Eine fundierte Abschätzung der Grössenordnung der Energieeinsparpotentiale im Bereich Entwässerung und Trocknung ist sehr schwierig. Die vorliegenden Analysen und Szenarien zur Energieverbrauchsentwicklung in der Industrie sind nur teilweise vergleichbar,
  - da die Energieeinsparpotentiale für unterschiedliche Zeitperioden abgeschätzt werden
  - da den Szenarien sehr unterschiedliche energiepolitische Rahmenbedingungen (z.B. bezüglich Energiepreisen) zugrundegelegt werden
  - da die einen Studien die technischen Einsparpotentiale betrachten, während andere die tatsächlich realisierbar erscheinenden Investitionen in den Mittelpunkt stellen

- da je nach Studie die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs pro produzierte Einheit oder des gesamten Energieverbrauchs einer bestimmten Branche betrachtet wird.

**Abb. 2 - 10 Potential zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs im Bereich Entwässerung und Trocknung in den nächsten 10-15 Jahren (Annahme: Heutige energiepolitische Rahmenbedingungen)**

	Technisch machbares Sparpotential	Technisch machbares und betriebswirtschaftlich tragbares Sparpotential	Sparpotential, das in den nächsten 10-15 Jahren praktisch realisierbar erscheint
<ul style="list-style-type: none"> <li>• PROGROS/IBP (1987)<sup>a)</sup></li> </ul>	30 - 45%	10 - 15%	*
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spezialauswertungen der Szenarien zur industriellen Energienachfrage von BASICS (1996)</li> </ul>	*	10 - 15%	ca. 7%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SCHWEIZERISCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN (1999)<sup>b)</sup></li> </ul>	*	ca. 15%	maximal 15%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallstudie „Metallindustrie in der Region Basel“ der RAPP AG<sup>c)</sup></li> </ul>	*	*	15 - 20%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallstudie „Agrochemie in der Region Basel“ der RAPP AG<sup>c)</sup></li> </ul>	30 - 60%	ca. 20%	ca. 15%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expertengespräche mit Fachleuten aus der Chemie-, Papier- und Nahrungsmittelindustrie</li> </ul>	10 - 30%	10 - 15%	ca. 10%

\* Fehlende Angaben

- a) Es kann davon ausgegangen werden, dass die genannten Potentiale bis heute zum Teil ausgeschöpft worden sind.
- b) Die angegebenen Potentiale unterstellen eine gewisse Veränderung der energiepolitischen Rahmenbedingungen.
- c) Die Angaben beziehen sich auf den gesamten Energieverbrauch von Betrieben, die vorgängig noch kaum Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz realisiert haben.

- **Potentiale zur Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs im Bereich Entwässerung und Trocknung.** Aufgrund der Übersicht in Abb. 2-10 kann in den nächsten 10 bis 15 Jahren in den trockenungsintensiven Industriezweigen mit folgendem Potential zur Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs gerechnet werden:

### A) **Technisch machbares Sparpotential**

Bei der Realisierung aller technisch machbaren Energiesparmöglichkeiten kann in der Industrie mit einem Sparpotential in der Grössenordnung von 20-30% für Prozesse und Systeme gerechnet werden.

### B) **Technisch machbares und betriebswirtschaftlich tragbares Sparpotential**

Abbildung 2-10 zeigt, dass das technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare Energiesparpotential für Prozesse und Systeme in der Grössenordnung von 15% liegen dürfte.

### C) **Praktisch realisierbar erscheinendes Sparpotential**

Technische Machbarkeit und betriebswirtschaftliche Tragbarkeit sind in der Praxis oft nicht ausreichend für die tatsächliche Ausschöpfung der Einsparpotentiale. Die Gründe für dieses Phänomen werden in Kapitel 3 näher untersucht. Gemäss Abbildung 2-10 kann davon ausgegangen werden, dass ein realistisches Sparpotential unter Berücksichtigung der betrieblichen Rahmenbedingungen in der Grössenordnung von 10 bis 15% für den Zeithorizont der nächsten 10-15 Jahre liegen kann.

- **Potential zur Reduktion des gesamten Energieverbrauchs für Entwässerung und Trocknung in der Schweizer Industrie.** Trotz Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs für Entwässerung und Trocknung ist bis zum Jahr 2010 in der Schweizer Industrie aufgrund von Produktionssteigerungen eine Zunahme des Energieverbrauchs zu erwarten. Dank realisierter Energiesparmassnahmen erscheint es plausibel, dass die erwarteten Produktionssteigerungen den gesamten Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung bis 2010 nicht auf circa 18'100 TJ/Jahr sondern lediglich auf ca. 15'400-16'300 TJ/Jahr ansteigen lassen (vgl. Abbildung 2-11).

Da auch bei anderen industriellen Prozessen bis 2010 voraussichtlich Energieeffizienzsteigerungen realisiert werden, wird der Anteil der Entwässerung und Trocknung am industriellen Energieverbrauch 2010 wie 1995 ca. 8% betragen<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Vgl. Spezialauswertungen der Szenarien zur industriellen Energienachfrage (BASICS 1996) sowie Abbildung 2-4

**Abb. 2-11 Szenario zum gesamten Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung in der Schweizer Industrie im Jahr 2010**

Energieverbrauch Entwässerung und Trocknung	
14'483 TJ/Jahr	Energieverbrauch der Industrie 1995 (vgl. Abb. 2-4)
ca. 18'100 TJ/Jahr	Energieverbrauch der Industrie 2010 aufgrund der wirtschaftlichen Entwicklung ohne Berücksichtigung der Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz
15'400-16'300 TJ/Jahr	Energieverbrauch für Entwässerung und Trocknung 2010 nach Berücksichtigung von Energiesparmassnahmen

Quelle: Berechnungen RAPP AG auf der Basis von Spezialauswertungen der Szenarien zur industriellen Energienachfrage von BASICS 1996

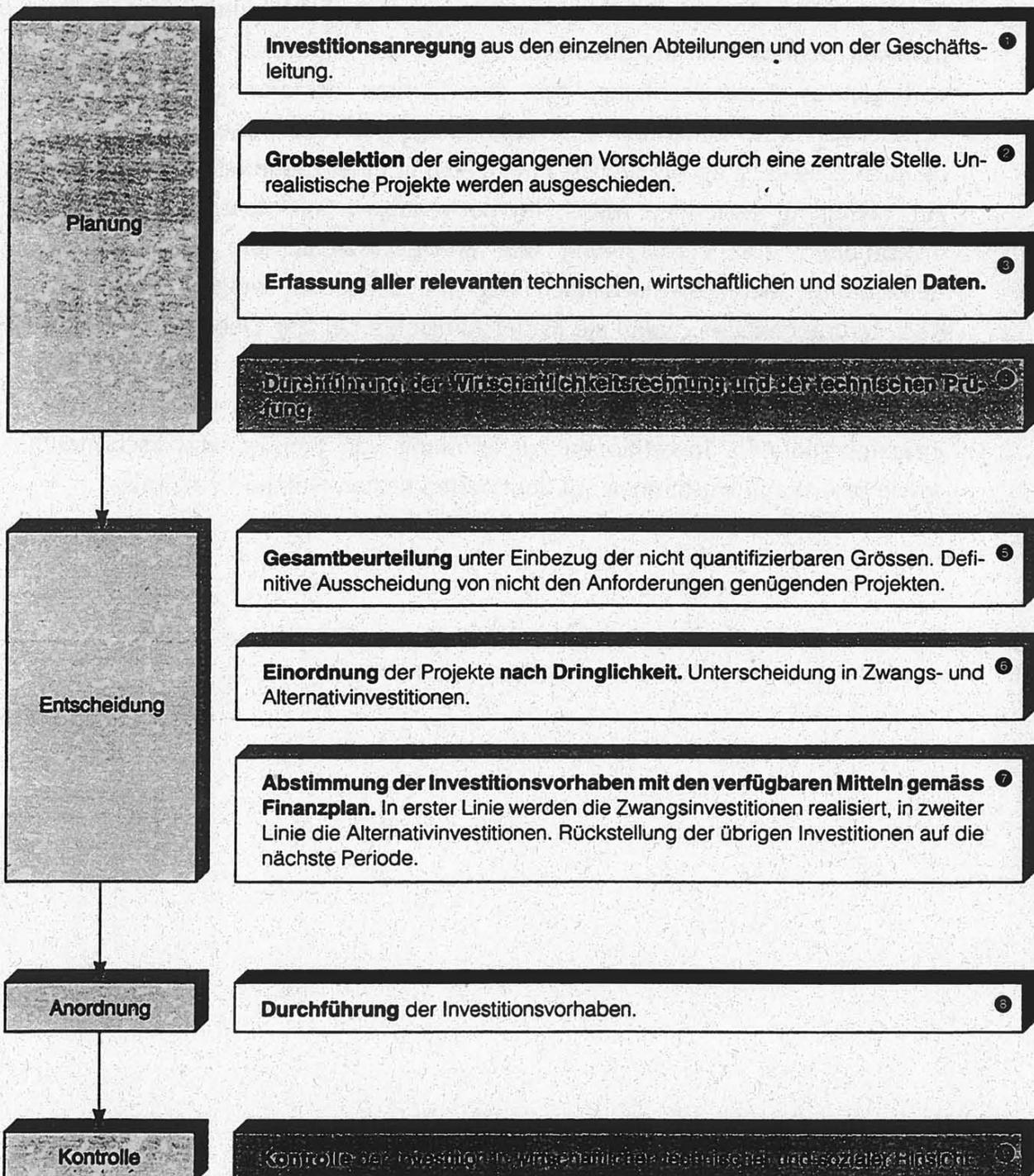
### 3 Fördernde und hemmende Faktoren bei der Realisierung von Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz

- **Schlüsselfrage.** Gemäss Kapitel 2 ist davon auszugehen, dass im Bereich der industriellen Entwässerung und Trocknung Verbesserungen der Energieeffizienz von ca. 15% technisch machbar und betriebswirtschaftlich tragbar wären. Allerdings ist damit zu rechnen, dass in der Praxis nur ein Teil dieses Einsparpotentials tatsächlich ausgeschöpft werden wird. Daraus ergibt sich die Schlüsselfrage der vorliegenden Studie (vgl. Kapitel 1):  
**Welche Gründe sind in der unternehmerischen Praxis dafür massgebend, ob technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz realisiert bzw. nicht realisiert werden?**
- **Durchführung von Fallstudien.** Zur Klärung der obigen Frage bedarf es einer Analyse konkreter unternehmerischer Entscheidungsprozesse. Um den geforderten Differenzierungsgrad der Untersuchung zu erreichen, wurden Intensivinterviews mit technischen Leitern von 20 Betrieben aus den trockenungsintensiven Branchen Chemie, Nahrungsmittel, Papier und Textil geführt:
  - Zur Erfassung der **innovationshemmenden Faktoren** wurden 28 von den Betrieben geprüfte Energiesparinvestitionen (z.B. Optimierung der Wärmerückgewinnung, Verbesserung der Wärmedämmung, Optimierung der Prozesssteuerung und -regelung, Einsatz neuer Anlagen mit geringerem spezifischem Energieverbrauch) untersucht, die trotz technischer Machbarkeit und betriebswirtschaftlicher Tragbarkeit bisher nicht realisiert worden sind → Kapitel 3.1.
  - Zur Erfassung der **innovationsfördernden Faktoren** wurden 49 realisierte Investitionen im Bereich Entwässerung und Trocknung analysiert → Kapitel 3.2.

### 3.1 Innovationshemmende Faktoren

- **Charakteristika der industriellen Investitionsplanung.** Abbildung 3-1 zeigt die üblichen Schritte der Investitionsplanung in der Industrie. Wichtig ist im vorliegenden Zusammenhang, dass die Summe der von den einzelnen Abteilungen eines Unternehmens vorgeschlagenen Investitionen in der Regel deutlich grösser ist als die gemäss Finanzplan in einer bestimmten Zeitperiode zur Verfügung stehenden Mittel. Im notwendigen Selektionsprozess haben Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz, die bei isolierter Betrachtung „betriebswirtschaftlich tragbar“ erscheinen mögen, nur dann Realisierungschancen, wenn sie in der Rangfolge der zur Debatte stehenden Investitionen bezüglich Return on investment, Nutzwert etc. genügend gut positioniert sind. Realisiert werden schliesslich die Zwangsinvestitionen (z.B. Ersatzinvestitionen, Investitionen zur Erfüllung von Brandschutzvorschriften) sowie jene Wahlinvestitionen mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Abb. 3-1 Investitionsplanung



- **Verzicht auf technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz.** Die Untersuchung der 28 nicht realisierten Investitionen zur Erhöhung der Energieeffizienz zeigt sehr klar, dass die grosse Mehrzahl dieser potentiellen Investitionen deshalb nicht durchgeführt worden ist, weil deren Vorteile im Vergleich zu anderen konkurrierenden Investitionsvorhaben nicht genügend gross waren<sup>12</sup>. Gemäss Abbildung 3-2 wurde dieser Grund für den Verzicht auf eine Investition von den befragten Betriebsleitern in 11 Fällen explizit genannt. In 17 Fällen wurden zu wenig attraktive wirtschaftliche Nutzeffekte ins Feld geführt, was nichts anderes bedeutet, als dass die verfügbaren Mittel für betriebswirtschaftlich wichtigere oder attraktivere Investitionsvorhaben eingesetzt worden sind. Wie Abbildung 3-2 zeigt, sind „absolute Schwächen“ möglicher Investitionen (z.B. Furcht vor Qualitätseinbusse, Engpässe bei Fachpersonal) gegenüber den genannten „relativen Schwächen“ (= Schwächen im Vergleich zu anderen Investitionsvorhaben) von klar untergeordneter Bedeutung.

Dieses Ergebnis ist mit Blick auf allfällige staatliche Impulse zur Verbesserung der Energieeffizienz von besonderer Bedeutung. Es gilt nach Wegen zu suchen, um die relative Vorteilhaftigkeit von Energieeffizienzsteigerungen direkt oder indirekt zu verbessern (vgl. Kapitel 4).

---

<sup>12</sup> vgl. auch BASICS 1999, S. 8f sowie ECOPLAN 1998, S. 11f

**Abb. 3-2 Gründe für den Verzicht auf technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz**

Gründe für Verzicht auf Investitionsvorhaben	Anzahl Nennungen (... von 28 Investitionsvorhaben)
<p><b>„Relative Schwächen“ des Vorhabens im Vergleich zu konkurrierenden Investitionsvorhaben</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Andere Prioritäten für Einsatz der beschränkten Mittel</li> <li>• Zu geringer Return on investment; zu lange Pay-back-Periode; zu geringer Nutzwert</li> <li>• Geringe Vorteile, da Energiekosten für Betrieb von untergeordneter Bedeutung</li> <li>• Geringe Vorteile, da Energieeffizienz des Betriebes bereits hoch</li> </ul>	<p>11 (= 39%)</p> <p>17 (= 61%)</p> <p>4 (= 14%)</p> <p>5 (= 18%)</p>
<p><b>„Absolute Schwächen“ des Vorhabens</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Furcht vor Qualitätseinbuße bzw. vor sinkender Leistungsbereitschaft</li> <li>• Engpässe bei Fachpersonal; weitere Neuerungen nicht verkraftbar</li> </ul>	<p>3 (= 11%)</p> <p>4 (= 14%)</p>

Quelle: Erhebungen BHP

- **Energiekosten als Schlüsselfaktor.** Einen zentralen Faktor für die oft geringe betriebswirtschaftliche Attraktivität von Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz bildet der meist geringe Anteil der Energiekosten am Betriebsaufwand. Selbst in den untersuchten trocknungs- und damit energieintensiven Betriebseinheiten<sup>13</sup> entsprechen die Energiekosten - mit Ausnahme der Papierindustrie<sup>14</sup> - nicht mehr als 1 - 4% des Umsatzes der betreffenden Betriebseinheiten (vgl. Abb. 3-3).

<sup>13</sup> Ein Vergleich der Abb. 3-3 mit der Abb. 2-6 zeigt, dass der Energieverbrauch pro Beschäftigten für Entwässerung und Trocknung in den untersuchten trocknungsintensiven Betriebseinheiten zum Teil ein Vielfaches der Branchenmittelwerte erreicht.

<sup>14</sup> Die Betriebseinheit N4 wirkt als reine „Lohnarbeiterin“ in einem grossen Nahrungsmittelkonzern, was zum ausgewiesenen hohen Stellenwert der Energiekosten führt.

Abb. 3-3 Energetische Kennziffern der untersuchten Betriebseinheiten

Branche	Betriebs- einheit	Jährlicher Energieverbrauch [G] / Beschäftigter		Energiekosten in % des Umsatzes
		Total	Für Entwässerung und Trocknung	
Chemie	C1	ca. 2'900	ca. 1'900	ca. 2%
	C2	ca. 1'100	ca. 100	ca. 1%
	C3	ca. 700	ca. 200	ca. 2%
	C4	ca. 5'800	ca. 2'900	ca. 4%
	C5	*	*	*
Nahrungsmittel	N1	ca. 400	ca. 300	ca. 1%
	N2	ca. 400	*	ca. 1%
	N3	ca. 2'900	*	ca. 4%
	N4	ca. 2'200	*	ca. 17% <sup>a)</sup>
	N5	ca. 700	ca. 400	ca. 2%
Papier	P1	ca. 3'600	*	ca. 10%
	P2	ca. 6'800	ca. 6'100	ca. 10%
	P3	ca. 3'600	ca. 2'200	ca. 16%
	P4	ca. 1'800	ca. 1'300	ca. 9%
	P5	ca. 8'300	*	ca. 23%
Textil	T1	ca. 700	ca. 300	ca. 3%
	T2	ca. 400	ca. 100	ca. 3%
	T3	ca. 400	*	ca. 1%
	T4	ca. 700	ca. 300	ca. 2%
	T5	ca. 400	ca. 100	ca. 1%

\* Fehlende Angaben

a) Die Betriebseinheit N4 wirkt als reine „Lohnarbeiterin“ in einem grossen Nahrungsmittelkonzern, was zum ausgewiesenen hohen Stellenwert der Energiekosten führt.

Quelle: Erhebungen BHP

- **Fremdfinanzierung von Energiesparinvestitionen.** Da auch betriebswirtschaftlich tragbare Energiesparinvestitionen zum Teil im Selektionsprozess der Investitionsplanung wegen der beschränkten verfügbaren Mittel ausscheiden, stellt sich die Frage nach möglichen alternativen Finanzierungsformen. Die Praxis zeigt aber, dass

- einer Erweiterung der Investitionskapazität der Firmen durch die Beschaffung zusätzlichen **Fremdkapitals** meist enge Grenzen gesetzt sind<sup>15</sup>. Die Banken berücksichtigen bei der Bonitätsprüfung stets die Gesamtfinanzierung und die Ertrags- bzw. Rentabilitätsaussichten der ganzen Unternehmung. Da viele Unternehmungen bereits eine beträchtliche Fremdkapitalbelastung aufweisen und da von den Firmen selbst als betriebswirtschaftlich nur mässig interessant eingestufte Energiesparinvestitionen auch von den Banken kaum günstiger bewertet werden, ist eine Fremdfinanzierung entsprechender Investitionen zur Erhöhung der Energieeffizienz kaum möglich.
- **Contracting-Lösungen** im vorliegenden Zusammenhang meist keinen gangbaren Weg darstellen. Potentielle Contracting-Anbieter verfügen in der Regel weder über das spezialisierte Know-how noch über die notwendigen Grössenvorteile, um wettbewerbsfähige Lösungen für spezielle industrielle Entwässerungs- und Trocknungsaufgaben anbieten zu können<sup>16</sup>.

### 3.2 Innovationsfördernde Faktoren

- **Stellenwert der Energie bei realisierten Investitionen im Bereich Entwässerung und Trocknung.** In den vergangenen 10 Jahren haben die untersuchten Betriebseinheiten verschiedene bedeutende Veränderungen bei den Entwässerungs- und Trocknungsprozessen und der hierfür notwendigen Betriebsinfrastruktur vorgenommen. Bei 36 (= 74%) der von den befragten technischen Leitern als besonders wichtig taxierten 49 Investitionen wurde der Energieeffizienz bei der Investitionsplanung Beachtung geschenkt (vgl. Abbildung 3-4):
  - Bei 13 (= 27%) der betrachteten Investitionen hatten die Energieeffizienz und insbesondere die realisierbaren Einsparungen der spezifischen Energiekosten gar eine zentrale Bedeutung beim Investitionsentscheid.

---

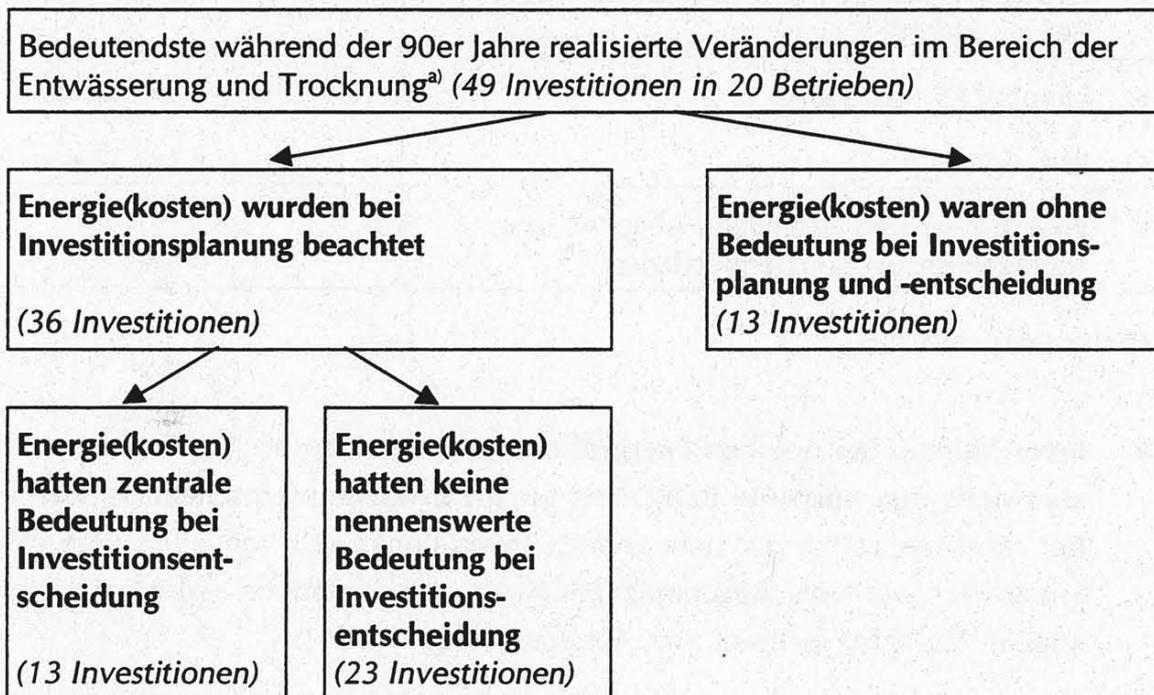
<sup>15</sup> Vgl. auch ECOPLAN 1998, S.12.

<sup>16</sup> Gemäss BASICS (1999, S. 21) entfallen denn auch nur 13% der 213 untersuchten Contractings in der Schweiz auf Industriebetriebe. Vgl. ausserdem ECOPLAN 1998, S.12.

- Bei weiteren 23 Investitionen (= 47%) wurde der Energieeffizienz bei der Investitionsplanung Beachtung geschenkt. Die Gründe für die Investition waren aber andere.

Der Stellenwert, welcher den Energie(kosten) bei der Investitionsplanung beigemessen wurde, erscheint insgesamt beachtlich angesichts der Tatsache, dass die Energiekosten bei den meisten untersuchten, als energieintensiv einzustufenden Betriebseinheiten nicht mehr als 1% bis 4% des Umsatzes ausmachen<sup>17</sup> (vgl. Abbildung 3-3).

**Abb. 3-4 Stellenwert der Energie bei realisierten Investitionen im Bereich Entwässerung und Trocknung**



a) Gemäss Einschätzung der befragten technischen Betriebsleiter

Quelle: Erhebungen BHP

- **Investitionen mit zentraler Bedeutung der Energie bei der Investitionsentscheidung.** Bei 13 untersuchten Investitionen (vgl. Abbildung 3-4) hatte das Thema Energie zentrale Bedeutung bei der Investitionsentscheidung. In der grossen Mehrzahl der Fälle stand die Reduktion der Energiekosten im

<sup>17</sup> Höhere Werte verzeichnen nur die untersuchten Betriebe aus der Papierindustrie.

Mittelpunkt (vgl. Abbildung 3-5). In einzelnen Fällen wurden mit der Investition auch Vorgaben des Firmenleitbildes zur Verbesserung der Energieeffizienz erfüllt. Ohne Bedeutung waren präventive Massnahmen mit Blick auf zukünftig mögliche staatliche Abgaben (z.B. Energieabgabe, CO<sub>2</sub>-Abgabe) oder Auflagen bezüglich Energieeffizienz.

**Abb. 3-5 Investitionen mit zentraler Bedeutung der Energie(kosten) für die Investitionsentscheidung**

Massgebende Investitionsziele	Anzahl Nennungen (... von 13 Investitionen)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsparung Energiekosten</li> <li>• Reduktion Betriebskosten durch optimalere Betriebsabläufe</li> </ul>	<p>10 (= 77%)</p> <p>3 (= 23%)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Element Firmenleitbild</li> <li>• Imagegewinn</li> </ul>	<p>3 (= 23%)</p> <p>1 (= 8%)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erwartungen von staatlichen Abgaben bzw. Auflagen bezüglich Energieeffizienz</li> </ul>	<p>0 (= 0%)</p>

Quelle: Erhebungen BHP

- **Investitionen, bei welchen Energie(kosten) in der Planung beachtet wurden aber ohne nennenswerte Bedeutung für die Investitionsentscheidung waren.** Bei rund der Hälfte der untersuchten Investitionen (23 von 49) wurde den Energie(kosten) wohl Beachtung geschenkt, die Investition wurde aber aus anderen Gründen realisiert (vgl. Abbildung 3-6):
  - In 7 der 23 Fälle handelte es sich um Zwangsinvestitionen, welche zum Anlass genommen wurden, um gleichzeitig Verbesserungen der Energieeffizienz zu realisieren.
  - Die übrigen 16 Investitionen wurden in erster Linie mit dem Ziel realisiert, neue bzw. bessere Produkte anzubieten und/oder die Produktivität pro Zeiteinheit zu steigern. Mögliche Verbesserungen der Energieeffizienz stellen einen erwünschten Nebeneffekt dieser Investitionen dar, ohne für den Investitionsentscheid massgebend zu sein.

Die letztgenannte zahlenmässig bedeutsame Kategorie von Investitionen ist mit Blick auf allfällige staatliche Impulse zur Verbesserung der Energieeffizienz

von besonderem Interesse. Sie zeigt, dass **energetische Optimierungen dann besonders gute Realisierungschancen haben, wenn sie gleichsam als „Trittbrettfahrer“ an ohnehin durchzuführende Investitionen angekoppelt werden können<sup>22</sup>.**

**Abb. 3-6 Investitionen, bei welchen Energie(kosten) in der Planung beachtet wurden, aber ohne nennenswerte Bedeutung für die Investitionsentscheidung waren**

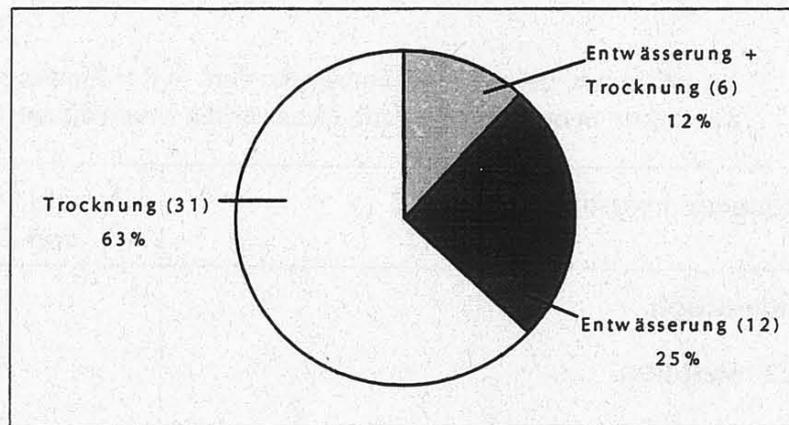
Massgebende Investitionsziele	Anzahl Nennungen (... von 23 Investitionen)
<b>Zwangsinvestition</b>	
• Ersatzinvestition	4 (= 17%)
• Vorgaben Umweltschutz/Brandschutz	3 (= 13%)
<b>Wahlinvestition</b>	
• Neue/Bessere Produktequalität	12 (= 52%)
• Höhere Produktionsmenge pro Zeiteinheit	11 (= 48%)
• Senkung Personalkosten	2 (= 29%)
• andere Gründe	2 (= 9%)

Quelle: Erhebung BHP

- **Typologie der realisierten Investitionen im Bereich Entwässerung und Trocknung.** Beinahe zwei Drittel der realisierten Investitionen betreffen den Bereich Trocknung (vgl. Abbildung 3-7). Im Vordergrund standen dabei Massnahmen zur Verbesserung der Wärmedämmung und der Wärmerückgewinnung sowie der Einsatz energieeffizienterer Trocknungsanlagen. Ein Viertel der Investitionen entfallen auf die Entwässerung, obwohl der spezifische Energieverbrauch hier vergleichsweise gering ist. Das Ziel der meisten Investitionen lag denn auch kaum bei der Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs für die Entwässerung, sondern bei der Erreichung niedrigerer Restfeuchten durch Entwässerung, um weniger Energie für die nachfolgende Trocknung einsetzen zu müssen.

<sup>22</sup> vgl. auch SPRENG/GOLDBLATT 1998, S. 58f

**Abb. 3-7 Investitionen im Bereich Entwässerung und Trocknung (49 Investitionen)**



Quelle: Erhebungen BHP

- **Energetische Effekte der realisierten Investitionen.** Die 36 untersuchten Investitionen, bei welchen die Energie(kosten) bei der Investitionsplanung berücksichtigt wurden, haben in 33 Fällen zu einer Reduktion des spezifischen Wärme- und/oder Stromverbrauchs geführt. In 3 Fällen (= Feld Neutral/Neutral in Abb. 3-8) wurde das Thema Energie wohl beachtet, aber es wurde schliesslich keine Verbesserung der Energieeffizienz realisiert.

Wie Abbildung 3-8 zeigt, hat die grosse Mehrzahl der betrachteten Investitionen (30 von 36 Fällen) zu einer Abnahme des spezifischen Wärmeverbrauchs geführt. Erreicht wurde dies z.B. durch Verbesserungen der Wärmedämmung oder der Wärmerückgewinnung, durch den Einsatz von Trocknungsanlagen mit höherer Energieeffizienz oder durch das Erreichen niedrigerer Restfeuchten durch eine optimierte mechanische Entwässerung<sup>19</sup>.

Interessant sind die Effekte der realisierten Investitionen auf den spezifischen Stromverbrauch (vgl. Abb. 3-8): Nur bei 7 Investitionen resultierte eine Reduktion des spezifischen Stromverbrauchs. Bei 6 Investitionen wurde eine Zunahme des spezifischen Stromverbrauchs in Kauf genommen, um die angestrebte Reduktion des spezifischen Wärmeverbrauchs zu erreichen (z.B.

<sup>19</sup> Z.B. Einsatz von Schuhpressen in der Papierindustrie.

Optimierung der mechanischen Entwässerung, um spezifischen Wärmeverbrauch in nachfolgender Trocknung zu reduzieren).

**Abb. 3-8: Energetische Effekte der realisierten Investitionen (Total 36 Fälle, bei welchen Energie(kosten) bei Investitionsplanung berücksichtigt wurden)**

Anzahl Investitionen		Spezifischer Stromverbrauch				
		Abnahme	Neutral	Zunahme	Keine Angaben	Total
Spezifischer Wärmeverbrauch	Abnahme	4	9*	6	11	30
	Neutral	3	3	0	0	6
	Zunahme	0	0	0	0	0
	Keine Angaben	0	0	0	0	0
	Total	7	12	6	11	36

\* Lesebeispiel: Bei 9 Investitionen konnte eine Reduktion des spezifischen Wärmeverbrauchs (J/kg Produkt) erreicht werden. Der spezifische Stromverbrauch blieb unverändert.

Quelle: Erhebungen BHP

Die durchgeführten Intensivinterviews zeigen deutlich, dass der Reduktion des spezifischen Stromverbrauchs in der Regel weniger Bedeutung beigemessen wurde als der Reduktion des spezifischen Wärmeverbrauchs. So liegen für 11 der 36 Investitionen keine Angaben über die Effekte der Investition auf den spezifischen Stromverbrauch vor. Dies erstaunt angesichts der Tatsache, dass die Stromkosten durchschnittlich 51%<sup>20</sup> der Energiekosten der untersuchten Betriebseinheiten ausmachen. Die Gründe für die vergleichsweise geringe Beachtung des Stromverbrauchs dürften u.a. darin zu suchen sein,

- dass Reduktionen des spezifischen Wärmeverbrauchs oft einen zusätzlichen Stromeinsatz (Optimierung der mechanischen Entwässerung, Einsatz von Wärmepumpen etc.) notwendig machen
- dass der Stromverbrauch viel weniger wahrgenommen wird als der Wärmeverbrauch, da Strom meist für eine breite Palette unterschiedlicher Aufgaben eingesetzt wird und - im Unterschied zur Wärme - weder

<sup>20</sup> Entsprechende Angaben liegen für 17 der 20 untersuchten Betriebseinheiten vor.

bestellt noch selber erzeugt und an den Verwendungsort gebracht werden muss.

### 3.3 Bilanz

\* Die Bedeutung der Energiekosten ist in den untersuchten Betriebseinheiten unterschiedlich. Obwohl nur als energieintensiv geltende Betriebseinheiten analysiert worden sind, absorbieren die Energiekosten ausser in der Papierindustrie nur 1% bis maximal 4% der Umsätze.

\* Nur bei einem Viertel der untersuchten realisierten Investitionen im Bereich Entwässerung und Trocknung war das Thema Energie - und dabei insbesondere die Senkung der Energiekosten - massgebend für die Realisierung der Investition.

Bei der Hälfte der realisierten Investitionen wurden die Energie(kosten) bei der Investitionsplanung mitberücksichtigt. Die Investition wurde aber aus anderen Gründen realisiert. Im Zentrum standen dabei Zwangsinvestitionen sowie Verbesserungen der Produktequalität und der Produktivität. Gleichzeitig erzielte Optimierungen der Energieeffizienz bilden für die Unternehmungen einen erwünschten Nebeneffekt, ohne entscheidungsrelevant zu sein.

\* Bei drei Vierteln der untersuchten realisierten Investitionen wurde dem Thema der Energie(kosten) damit bei der Investitionsplanung zumindest eine gewisse Beachtung geschenkt, was angesichts des Stellenwertes der Energiekosten nicht als selbstverständlich gelten darf.

\* Trotz der in verschiedenen untersuchten Betriebseinheiten realisierten Verbesserungen der Energieeffizienz gibt es noch ein unausgeschöpftes Potential von „technisch machbaren und betriebswirtschaftlich tragbaren“ Optimierungen der Energieeffizienz im Bereich Entwässerung und Trocknung.

- \* **Der wichtigste Grund für den Verzicht auf solche Investitionen sind die zu geringen betriebswirtschaftlichen Vorteile im Vergleich zu anderen wünschbaren Investitionen der Unternehmung. Da die Summe der von den verschiedenen Abteilungen eines Unternehmens vorgeschlagenen Investitionen meist deutlich grösser ist als die für Investitionen verfügbaren Mittel, findet ein Selektionsprozess statt. Dabei haben Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz, die bei isolierter Betrachtung „betriebswirtschaftlich tragbar“ erscheinen mögen, nur dann Realisierungschancen, wenn sie in der Rangfolge der zur Debatte stehenden Investitionen bezüglich des Kosten-Nutzen-Verhältnisses genügend gut positioniert sind. In der unternehmerischen Praxis führt dies dazu, dass das Potential der „technisch machbaren und betriebswirtschaftlich tragbaren“ Optimierungen der Energieeffizienz nur teilweise ausgeschöpft wird.**

## 4 Handlungsempfehlungen

- **Ziele der Energiepolitik des Bundes.** Ein Ziel der Energiepolitik des Bundes ist, durch geeignete Massnahmen und Rahmenbedingungen auch in der Industrie zur vermehrten Ausschöpfung der technisch machbaren und betriebswirtschaftlich tragbaren Potentiale zur Verbesserung der Energieeffizienz beizutragen.
- **Effekte der bisher eingesetzten politischen Instrumente.** ECOPLAN (1998, S. 15 - 17) haben die Effekte der folgenden Massnahmen der öffentlichen Hand auf die Realisierung von energiesparenden Investitionen in der Industrie untersucht:
  - Höhere steuerliche Abschreibungen auf Energiesparinvestitionen
  - Vorhandensein von Demonstrationsanlagen in anderen Firmen
  - Gratisberatung vom Elektrizitäts- oder Gaswerk
  - Gratisberatung von dritter Seite
  - Freiwillige Vereinbarungen zur Verbesserung der Energieeffizienz
  - Günstige Darlehen für Energiesparinvestitionen
  - Informationen zum Thema Energiesparen in Broschüren
  - Technische Beratung von dritter Seite
  - Subventionen für Forschung und Entwicklung von neuer, effizienter Technologie
  - Subventionen an die neue Anlage
  - Drittfinanzierung von Energiesparanlagen (Contracting)
  - Subventionen an die Kosten für externen Energieberater
  - Demand Side Management (Gratisberatung, dafür leicht höhere Tarife für Strom und Gas)

Das Resultat der ECOPLAN-Analyse ist eindeutig: „Keines der 13 [untersuchten] politischen Instrumente ... kann mit statistisch zufriedenstellender Sicherheit als Anreiz bezeichnet werden“<sup>21</sup>. Die durchgeführten Untersuchungen im

---

<sup>21</sup> Zu beachten bleibt, dass sich die Untersuchung auf die heute üblichen Dosierungen der Instrumente bezieht.

Bereich Entwässerung und Trocknung bestätigen dieses Bild: Für die Planung und Realisierung der 49 analysierten Investitionen waren die Förderinstrumente der öffentlichen Hand (Energie-Modell Schweiz von Energie 2000, F+E-/P+D-Projekte, Investitionsbonus, Beratungsangebote) gemäss Angaben der befragten technischen Betriebsleiter - mit einer Ausnahme - ohne direkte Bedeutung.

- **Ansatzpunkte für zielorientierte Massnahmen.** Die obenstehenden Befunde zeigen, dass einfache Rezepte zur Erreichung des gesetzten energiepolitischen Ziels fehlen. Sieht man von massiven Subventionierungen entsprechender Investitionen oder von einschneidenden Verteuerungen der Energie ab, so lassen sich aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse (vgl. Kapitel 3) gleichwohl drei mögliche Ansatzpunkte für zielorientierte Massnahmen identifizieren:
  - **Stossrichtung 1: Bewirken, dass mögliche energetische Verbesserungen bei der Planung von Investitionen überhaupt beachtet werden.**
  - **Stossrichtung 2: Impulse geben für vertiefte technische Analysen der energieintensiven Produktionsprozesse in der Industrie.**
  - **Stossrichtung 3: Anreize schaffen, damit Optimierungen der Energieeffizienz vermehrt an andere Investitionen angekoppelt werden.**
- **Stossrichtung 1: Bewirken, dass mögliche energetische Verbesserungen bei der Planung von Investitionen überhaupt beachtet werden.** Selbst für die meisten der hier untersuchten energieintensiven Betriebseinheiten sind die Energiekosten von vergleichsweise geringer Bedeutung<sup>22</sup>. Es ist deshalb keineswegs selbstverständlich, dass die Industrie das Thema Energie(kosten) bei Investitionsplanungen überhaupt beachtet (vgl. Kapitel 3). Folgende Massnahmen erscheinen prüfenswert, um das Thema Energieeffizienz bei Investitionsplanungen in der Industrie in die Diskussion zu bringen bzw. in der Diskussion zu halten:
  - **„Agenda setting“, um Thema Energie gesellschaftlich und politisch stets virulent zu halten.** Aktuelle Beispiele hierfür sind die Debatten um die Energieabgabe, die ökologische Steuerreform oder die CO<sub>2</sub>-Abgabe.

---

<sup>22</sup> Eine Ausnahme bildet die Papierproduktion.

- **Integration von Vorgaben zur Energieeffizienz in Managementsysteme und Betriebsmanuals**, die im Falle einer Zertifizierung des Betriebs zumindest eine formale Verbindlichkeit erhalten. Dabei genügt es allerdings nicht, lediglich die Basisverpflichtung der Norm ISO 14001 zu übernehmen, welche die „Verpflichtung zur kontinuierlichen Verbesserung und Verhütung von Umweltbelastungen“<sup>27</sup> beinhaltet, denn es fehlen darin sowohl Bestimmungen zur Zieldefinition (Benchmarks) als auch zur Zeitperiode für die Zielerreichung. Vorgeschrieben ist lediglich, dass sich das Umweltmanagementsystem auf diejenigen Umweltaspekte zu beziehen hat, „die bedeutende Auswirkungen auf die Umwelt haben oder haben können. Die Organisation muss sicherstellen, dass die Umweltaspekte, die mit diesen ... Auswirkungen verbunden sind, bei der Festlegung ihrer umweltbezogenen Zielsetzungen berücksichtigt werden.“<sup>28</sup>
- **Höhere Gewichtung des Themas Energie(effizienz) in den Mittelschulen sowie in der beruflichen Aus- und Weiterbildung.** Zielgruppen sind dabei nicht nur die technisch verantwortlichen Fachleute sondern insbesondere auch die Entscheidungsträger aus dem nichttechnischen Bereich. Ab der Sekundarstufe gilt es im Rahmen der naturwissenschaftlichen Fächer, vermehrt technische Fragen zu thematisieren und dabei ein vertieftes Verständnis der Herausforderungen und der Möglichkeiten der heutigen Energietechnik aufzubauen.
- **Stossrichtung 2: Impulse geben für vertiefte technische Analysen der energieintensiven Produktionsprozesse in der Industrie.** Für die genaue technische Planung und betriebswirtschaftliche Beurteilung möglicher Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz fehlen in den Betrieben z.T. Messungen der wichtigen Betriebsparameter sowie vertiefte Analysen relevanter Prozesse und Systeme. Eine Unterstützung der Industrie bei der Durchführung systematischer Prozess- und Systemanalysen würde es den technisch Verantwortlichen in der Folge erleichtern, mit beschränktem Aufwand fundierte - und damit chancenreichere - Projektvorschläge in die übergeordnete Investitionsplanung einzubringen. Ein Interesse der technischen Betriebsleiter an solchen Analysen dürfte dann am ehesten zu erreichen sein,

---

<sup>27</sup> Spezifikation 4.2, ISO 14001:1996

<sup>28</sup> Spezifikation 4.3.1, ISO 14001:1996

wenn eine fachlich fundierte Analyse ohne Einsatz eigenen Personals und ohne grössere Ausgaben für externe Beratungsleistungen zu erreichen ist.

Vor diesem Hintergrund erscheint es prüfenswert, vermehrt **Studierende der Fachhochschulen bzw. der ETH** für derartige Aufgaben beizuziehen, denn **Semester- und Diplomarbeiten** von Studierenden passen sehr gut ins oben skizzierte Anforderungsprofil der Industrie. An verschiedenen Hochschulen werden denn auch seit Jahren entsprechende Arbeiten durchgeführt, sofern die Komplexität der Fragestellungen dies erlaubt. Soll die Zahl derartiger Arbeiten im Energiebereich weiter erhöht werden, so sind vorerst einige spezifische Engpässe zu beseitigen:

- Die Hochschulen sind gefordert, die Terminpläne der Semester- und Diplomarbeiten zu flexibilisieren, um Anfragen der industriellen Partner rascher entsprechen zu können.
  - An Fachhochschulen sind - wo notwendig - zusätzliche Anreize zu schaffen, um die Dozenten noch vermehrt zur Durchführung entsprechender Semester- und Diplomarbeiten zu motivieren. Prüfwert erscheinen eine an bestimmte Voraussetzungen gebundene Reduktion der Pflichtstundenzahl im Lehrbetrieb sowie die Schaffung zusätzlicher Assistentenstellen.
  - Auf Seiten der Industrie gilt es den notwendigen Zugang zu betrieblichen Daten zu gewährleisten. Dies dürfte heute weniger Probleme verursachen als noch vor einigen Jahren, da viele Firmen im Engineering- und Unterhaltsbereich ohnehin mit externen Spezialisten zusammenarbeiten.
  - Wichtig ist, die Zusammenarbeit zwischen den Schulen und der interessierten Industrie zu institutionalisieren, um den administrativen Aufwand für die Industrie möglichst gering zu halten.
- **Stossrichtung 3: Anreize schaffen, damit Optimierungen der Energieeffizienz vermehrt an andere Investitionen angekoppelt werden.** Selbst für energieintensive Betriebe sind die Energiekosten in den meisten Fällen von vergleichsweise geringer Bedeutung. Unter diesen Rahmenbedingungen ist es auch für „technisch machbare und betriebswirtschaftlich tragbare“ Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz meist schwierig, einen im Vergleich zu anderen Investitionsvorhaben attraktiven wirtschaftlichen Nutzen zu erreichen (vgl. Kap. 3.1). Investitionen mit dem Hauptziel einer

Verbesserung der Energieeffizienz sind in der Industrie deshalb eher selten. Wesentlich häufiger sind Investitionen mit anderen Zielsetzungen, bei welchen als erwünschter Nebeneffekt Verbesserungen der Energieeffizienz realisiert werden können.

Die vermehrte Nutzung dieser Chance des „Trittbrettfahrens“ energetischer Optimierungen kann die öffentliche Hand gezielt begünstigen, indem sie

- bei allfälligen gesetzlichen Vorgaben zur Verbesserung der Energieeffizienz genügend Freiraum offen lässt, mit welchen Massnahmen und in welchem Zeitpunkt die Industrie die gesetzten Ziele zu erreichen hat. Damit werden für die Unternehmungen günstige Voraussetzungen geschaffen, um energetische Optimierungen in geeigneter Weise an Investitionen anzukoppeln, die ohnehin realisiert werden.

Im Kanton Zürich wird diese Strategie bereits umgesetzt<sup>29</sup>: Grossverbraucher von Energie können von genau definierten kantonalen Vorgaben zur Verbesserung der Energieeffizienz befreit werden, wenn sie sich verpflichten, bestimmte Verbesserungen der Energieeffizienz durch andere geeignete Massnahmen zu erreichen. Damit kann jeder Grossverbraucher seine Schritte zur Zielerreichung individuell auswählen und auf seine Investitionsplanung abstimmen.

- die Freistellung der Industrie von bestimmten Abgaben (z.B. CO<sub>2</sub>-Abgabe<sup>30</sup>) ermöglicht wird, wenn sich der Betrieb zu bestimmten Energieeffizienzsteigerungen verpflichtet. Der betreffende Betrieb kann damit seine Massnahmen zur Zielerreichung individuell definieren und optimal auf seine Investitionsplanung abstimmen.

---

29 REGIERUNGSRAT DES KANTONS ZÜRICH 1998, S. 64 - 66 und S. 101; KUNZ 1998, S. 9 - 13.

30 Vgl. Art. 9 CO<sub>2</sub>-Gesetz

## Verwendete Materialien

- BASICS (1996): Perspektiven der Energienachfrage der Industrie für Szenarien I bis III 1990 - 2030, Bern.
- BASICS (1996A): Wirtschaftliche Auswirkungen der Energie-Umwelt-Initiative auf Industrie und Dienstleistungen, Bern.
- BASICS (1999): Energie-Contracting in der Schweiz, Ausgestaltung - Wirkungen - Marktpotentiale, Bern.
- ECOPLAN (1998): Investitionsentscheide und Energiesparoptionen: Umfrage zu Hemmnissen und Einflussfaktoren, Zusammenfassung mit Schwerpunkt Schweiz, in: Ecoplan: Method for integrated evaluation of benefits, costs and effects of programmes for promoting energy conservation, Bern.
- HANSER, CH./KUSTER, J. (1990): Innovationsberatung in der Schweiz, in: Die Volkswirtschaft 6/90, S. 26 - 30.
- ILMBERGER, F./PFITZNER, G. (1994): Prozesswärme: Trockner, Teilprojekt 8 „Querschnittstechnologien“, Forschungszentrum Jülich, Jülich.
- KUNZ, H.R. (1998): Ziele statt Detailvorschriften, Energiemodell für Grossverbraucher, in: Umwelt Focus Oktober 1998, S. 9 - 13.
- LEIMGRUBER, J./PROCHINIG, U. (1994): Investitionsrechnung, Zürich.
- PROGNOS/IBP (1987): Untersuchung zur energetischen Verbesserung von mechanischen und thermischen Entwässerungs- und Trocknungsverfahren, Gauting/Basel.
- PROGNOS (1996): Energieperspektiven der Szenarien I bis III 1990 - 2030, Synthesebericht, Bern.
- REGIERUNGSRAT DES KANTONS ZÜRICH (1998): Energieplanungsbericht 1998, Zürich.
- SCHWEIZERISCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN (1999): CH 50% - eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien, Zürich.
- SPRENG, D./GOLDBLATT, D. (1998): Innovations in Energy Efficiency: Theory and Applications in Switzerland and Abroad, Bern.
- WEBER ET AL. (1999): Energieverbrauch in Bürogebäuden, Zürich.