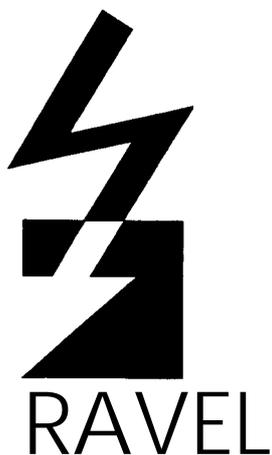


1996 724.397.12.55.1 D

Materialien zu RAVEL

**Mögliche Anwendungen
elektrischer
Produktionsverfahren
in der Schweiz**

Alois Huser



Ressort 12: Industrie

Bundesamt für Konjunkturfragen

Adressen:

Herausgeber: Bundesamt für
Konjunkturfragen (BfK)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/322 21 39
Fax: 031/371 82 89

Geschäftsstelle: RAVEL
c/o Amstein + Walthert AG
Leutschenbachstrasse 45
8050 Zürich
Tel.: 01/305 91 11
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter: Daniel Spreng
Forschungsgruppe
Energieanalysen, ETHZ
8092 Zürich
Tel.: 01/632 41 89
Fax: 01/632 10 50

Autor: Aiois Huser
Durena AG
Sägestrasse 6
5600 Lenzburg
Tel.: 062/886 93 71
Fax: 062/886 93 89

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Händen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung .

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, März 1996

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern
(Bestell-Nr. 724.397 .12.55.1 D)

Materialien zu RAVEL

Mögliche Anwendungen elektrischer Produktionsverfahren in der Schweiz

Alois Huser



Impulsprogramm RAVEL
Bundesamt für Konjunkturfragen

Die Schnittholztrocknung muss bezüglich den Trocknungszeiten in zwei Teile geteilt werden. In den Bereich über der Fasersättigung (ca. 30%) und den Bereich darunter.

Über dem Fasersättigungspunkt (ca. 30% Holzfeuchtigkeit) ist in den meisten Fällen die Freilufttrocknung am wirtschaftlichsten, weil sie nur unwesentlich langsamer ist als die technische Trocknung. So brauchen Nadelhölzbretter bis zu einer Dicke von 40 mm bei der Freilufttrocknung etwa eine Woche, dickeres Nadelholz und Laubholzbretter bis zu einer Dicke von 40 mm etwa zwei Wochen, um den Fasersättigungspunkt zu erreichen.

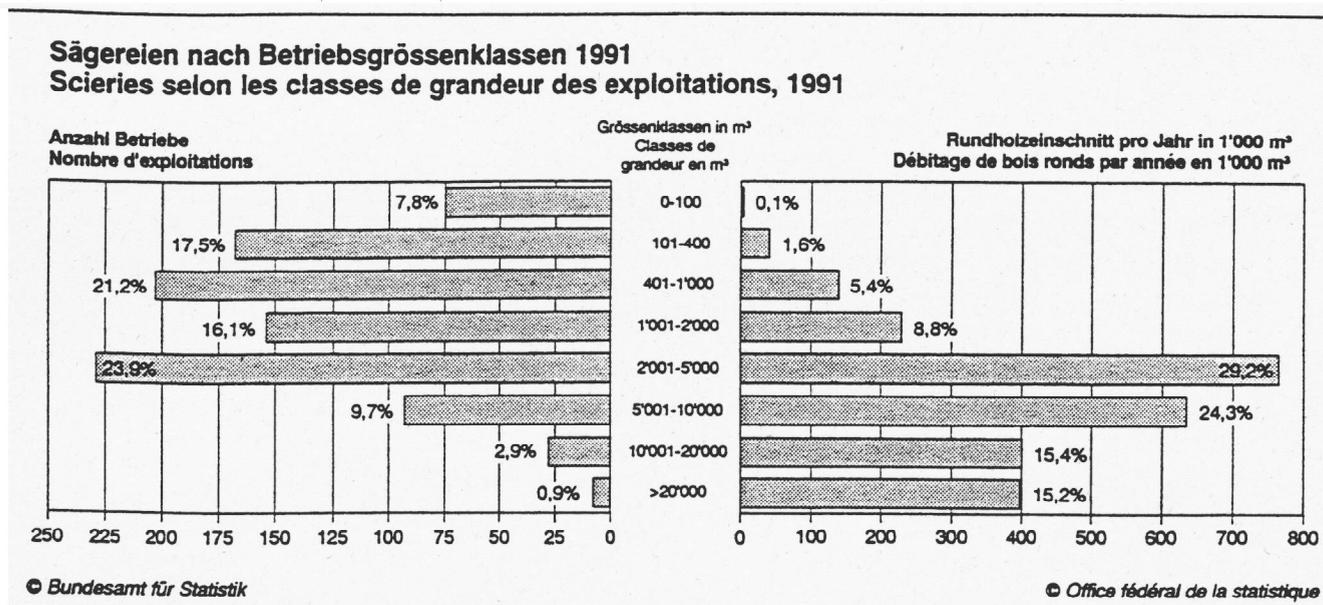
Die technische Schnittholztrocknung wird im Bereich über 30% Holzfeuchtigkeit aus verschiedenen Gründen trotzdem eingesetzt. Zum Beispiel bei Bauholz nach Liste, um die Durchlaufzeit und somit die Lieferfrist zu verkürzen, im Hochsommer, weil dann, vor allem bei empfindlichen Laubholzern, durch zu rasches Trocknen Trocknungsschaden entstehen könnten und bei dicken Laubhölzern, um die Trocknungszeit zu verkürzen.

Die Trocknungszeiten unterhalb der Fasersättigung können wie folgt beschrieben werden: Brettschichtholz-Lamellen Fichte/Tanne (FI/TA) 33 mm brauchen im Verdunstungstrockner ca. 1 bis 2 Tage, um von der Fasersättigung auf 12% zu trocknen. Bauholz FI/TA 140 mm braucht ca. 8 bis 10 Tage, um von der Fasersättigung auf 15% zu trocknen. Mit einem Vakuumtrockner verkürzen sich die Trocknungszeiten etwa um den Faktor 2. Ein Vergleich mit dem Kondensationstrockner ist wenig sinnvoll, da er oft als Vortrockner eingesetzt wird und seinen besten Wirkungsgrad bei über 25% Holzfeuchtigkeit hat.

7.2 Anwendungen in der Schweiz

In der Schweiz gibt es zwischen 800 und 1000 Sägereien. Davon sind 750 im, Schweiz. Sägerei- und Holzindustrieverband (SHIV) in Bern organisiert.

Das folgende Bild zeigt die Sägereien nach Betriebsgrössenklassen:



Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	5
2. Ausgangslage und Aufgabenstellung	14
3. Analyse der industriellen Struktur im Versorgungsgebiet der am Projekt beteiligten Elektrizitätswerke	16
4. Umfrage bei Anlagenherstellern	17
5. Prozess- und Verfahrensanalyse in ausgewählten Branchen	19
5.1 <i>Holzbearbeitung</i>	21
5.2 <i>Chemische Erzeugnisse</i>	22
5.3 <i>Metallbearbeitung</i>	24
5.4 <i>Ziegelindustrie</i>	25
5.5 <i>Kunststoffwaren</i>	25
5.6 <i>Nahrungsmittel</i>	26
6. Fallbeispiel "Lackrocknung im Autoreparaturgewerbe mit IR-Strahlung"	27
6.1 <i>Beschreibung des Verfahrens</i>	27
6.2 <i>Anwendungen in der Schweiz</i>	28
6.3 <i>Wirtschaftlichkeit</i>	29
6.4 <i>Energiebilanz</i>	30
6.5 <i>Umstellungspotential in der Schweiz</i>	32
6.6 <i>Kommunikationskanäle</i>	32
6.7 <i>Anforderungen an die Stromtarife</i>	33
7. Fallbeispiel "Trocknung von Konstruktions- und Schnittholz"	34
7.1 <i>Beschreibung des Verfahrens</i>	34
7.2 <i>Anwendungen in der Schweiz</i>	39
7.3 <i>Wirtschaftlichkeit</i>	42
7.4 <i>Energiebilanz</i>	43
7.5 <i>Umstellungspotential</i>	45

7.6	<i>Kommunikationskanäle</i>	46
7.7	<i>Anforderungen an die Stromtarife</i>	46
8.	Fallbeispiel "induktives Schmelzen von Metallen"	47
8.1	<i>Beschreibung des Verfahren</i>	47
8.2	<i>Anwendungen in der Schweiz</i>	48
8.3	<i>Wirtschaftlichkeit</i>	49
8.4	<i>Energiebilanz</i>	49
8.5	<i>Umstellungspotential</i>	53
8.6	<i>Kommunikationskanäle</i>	53
8.7	<i>Anforderungen an die Stromtarife</i>	53
9.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die schweizerische Elektrizitätswirtschaft	55
9.1	<i>Zusammenarbeit Stromlieferant - Produktionsbetrieb</i>	55
9.2	<i>Aus- und Weiterbildung</i>	56
9.3	<i>Anforderungen an die .Stromtarife</i>	56
9.4	<i>Aufbau Markt- und Prozess Know-how</i>	56
10.	Quellenverzeichnis	58
Anhänge		
	Anhang 1: Anwendungsmatrix " Nahrungsmittel"	
	Anhang 2: Anwendungsmatrix " Holzbearbeitung"	
	Anhang 3: Anwendungsmatrix " Chemische Erzeugnisse"	
	Anhang 4: Anwendungsmatrix " Kunststoffwaren"	
	Anhang 5: Anwendungsmatrix "Ziegelherstellung"	
	Anhang 6: Anwendungsmatrix " Metallverarbeitung"	

Vorwort

Der vorliegende Bericht beschreibt einige Einsatzmöglichkeiten und deren Marktumfeld von Produktionsverfahren mit elektrischer Energie. Das Vorgehen gliederte sich in drei Stufen:

1. Übersicht über die Industriestruktur aufgrund von Datenbanken der beteiligten Elektrizitätswerke
2. Befragung von Vertretern ausgewählter Branchen über die Energieanwendungen
3. Auswahl und Untersuchung von drei Anwendungen

Wir danken den folgenden Institutionen und Firmen für ihre Mitarbeit:

- AMAG, Schinznach
- Brand AG, Zollbrück
- Toyota AG, Safenwil
- Lignotec Holzingenieure GmbH, Biel
- Ferrum AG, Schafisheim
- Hero AG, Lenzburg
- Alu Menziken Industrie AG, Menziken
- BAG, Turgi
- Ems-Dottikon AG, Dottikon
- Schweiz. Gesellschaft für chemische Industrie, Zürich
- Verband der Schweizerischen Ziegelindustrie (VSZ), Zürich
- Schweizerische Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH), Biel
- Verband der schweiz. Carrosserieindustrie (VSCF), Zofingen
- Schweiz. Sägerei- und Holzindustrie-Verband, Bern
- Giesserei-Verband der Schweiz, Zürich
- Verein schweizerischer Aluminium-Industrieller, Zürich

Dieses Projekt ist Teil des Ravel-Projektes 12.55, dessen erster Teil vollumfänglich von RAVEL finanziert wurde und dessen Ergebnisse im Bericht " Elektrische Produktionsverfahren" [1] publiziert wurden. Der zweite Teil wurde als Nachfolgeprojekt von den Unternehmungen Aargauisches Elektrizitätswerk (AEW), BKW Energie AG, Centralschweizerische Kraftwerke AG (CKW), Electricity Neuchâteloise SA (ENSA), St. Gallisch Appenzellische Kraftwerke AG (SAK) und Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung (INFEL) gemeinsam erarbeitet.

Das Projekt wurde von folgender Arbeitsgruppe bearbeitet:

Projektsteuerung: Dr. A. Bertschinger, BKW Energie AG
A. Meier, AEW

Projektleitung: A. Huser, Durena AG

Projektbegleitung: Ch. Garneri, ENSA
D. Haefelin, INFEL
M. Huser, AEW
D. Menetrey, BKW Energie AG
M. Milic, CKW
W. Rogg, NOK für SAK)

1. Zusammenfassung

Ziele der Studie

Die Palette der industriellen Elektroverfahren ist sowohl bezüglich der Prozesstechniken als auch hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten in den verschiedenen Branchen der industriellen Produktion ausserordentlich breit und vielfältig. Neben den bekannten, klassischen Anwendungen in der Metallurgie und Metallbearbeitung (Lichtbogen-Schmelzen und -Schweissen, Inductions- und Widerstandserwärmung etc.) sowie der Verfahrenstechnik (Brudenverdichtung) gibt es weitere "neuere" Verfahren (Dielektrische und Infrarot-Etwärmung, Kondensationstrocknung, Elektronenstrahl und Plasma etc.), die sich in den verschiedensten Branchen für viele Produkte und Produktionsschritte anwenden lassen. ,

In der Ravel-Publikation " Elektrische Produktionsverfahren" [1] sind die heute bekannten Technologies und Verfahren zusammengestellt und beschrieben. Dieser Bericht beschreibt die Anwendungsmöglichkeiten der elektrischen Produktionsverfahren in ausgewählten Branchen. Von den vielen Anwendungen werden in dieser Studie drei Verfahren näher untersucht:

- . Lacktrocknung im Autoreparaturgewerbe mit Infrarot-Strahlung
- . Trocknung von Konstruktions- und Schnittholz
- . Schmelzen von Metallen mit Induktion

Diese Beispiele wurden hinsichtlich den folgenden Randbedingungen geprüft:

- Anwendungsumfang in der Schweiz
- . Wirtschaftlichkeit auf der Ebene Unternehmung
- Senkung des Energieaufwandes auf der Primärenergiestufe
- . Reduktion der Umweltbelastung
- . Forderungsmöglichkeiten

Die Energie- und Emissionsbilanzen basieren auf der schweizerischen Elektrizitätsproduktionsstruktur. Für ihre Berechnung wurden die publizierten Daten des ETH - Forschungsprojektes " Umweltbelastung der End- und Nutzenergiebereitstellung" [4] verwendet.

Anlagenhersteller

Die Anlagenhersteller lassen sich in zwei Gruppen aufteilen:

- . Die erste Gruppe baut grosse Anlagen und beliefert die Kunden direkt. Der Kunde ist in einer Branche, welche in der Schweiz mit relativ wenigen Betrieben vertreten ist.

- Die zweite Gruppe baut Komponenten für Anlagen- und Apparatebauer sowie Zwischenhandler. Diese verkaufen die Erzeugnisse an einen breiten Kundenkreis von kleinen Anlagebetreibern weiter.

Die zweite Gruppe der Anbieter weiss relativ wenig über den Markt der Endkunden.

Untersuchte Branchen

Die folgenden Branchen wurden entweder wegen ihrer grossen Kundenzahl im Segment Klein- und Mittelbetriebe oder wegen ihrer Bedeutung beim Stromumsatz ausgewählt und untersucht

- Holzbearbeitung
- Chemische Industrie
- Metallbearbeitung
- Steine und Erde (Ziegelindustrie)
- Kunststoffindustrie
- Nahrungsmittelherstellung

Von den jeweiligen Branchenverbänden sind Angaben über die wirtschaftlichen und zum Teil technischen Entwicklungen und Tendenzen zur Verfügung gestellt worden.

In jeder Branche sind weiter ein oder mehrere Betriebe besucht und über die energie-wirtschaftlichen sowie energietechnischen Verhältnisse befragt worden. Dabei haben sich über alle Branchen hinweg folgende Erkenntnisse herauskristallisieren lassen:

- Trend zu Produkten mit hoher Qualität und Wertschöpfung -
- Zunehmender Kostendruck bei Unternehmen im internationalen Wettbewerb
- steigende Bedeutung von Kälteanwendungen (Qualitätsverbesserung, Umweltauswirkungen vermindern)
- Thermische Energie wird durch mechanische Energie ersetzt (z.B. Membrantrennverfahren)
- Ausdehnung der Produktionszeiten auf 24 h während 7 Tage in der Woche
- Der Temperaturbereich von 100°C -200°C wird vorwiegend mit Dampf abgedeckt (Chemie, Nahrungsmittelherstellung)
- Planung von Anlagen meist bei den Produktionsbetrieben selbst

Daneben gelten für jede Branche und sogar für jedes einzelne Unternehmen eigene, spezifische Randbedingungen. Diese können nur in einem dauernden und intensiven Kundenkontakt seitens der Energielieferanten in Erfahrung gebracht werden.

Fallbeispiel " Lacktrocknung im Autoreparaturgewerbe mit IR-Strahlung"

Die Infrarot(IR)-Trocknung von Lacken im Autoreparaturgewerbe ist ein wirtschaftliches und energieeffizientes Verfahren. Pro Schadenfall resultieren Minderkosten von gegen Fr. 50.– gegenüber konventionellen Umlufttrocknungsverfahren. Mit IR-Trocknung lassen sich die spezifischen CO₂-Emissionen um das 20-fache verringern. Sehr viele Carrossierereparaturwerkstätten sind mit kleinen, mobilen IR-Systemen für Kleinreparaturen ausgerüstet. Grössere Schienensysteme in Kabinen sind aber weniger verbreitet. Ein Grund dafür liegt wahrscheinlich auch darin, dass wenig bis keine Wirtschaftlichkeitsüberlegungen durchgeführt werden. Via den Verband der schweizerischen Carrosserie-Industrie, Farblieferanten oder Branchenausbildungszentren könnten Resultate von Wirtschaftlichkeitsvergleichen an die Entscheidungsträger der Branche weitergegeben werden.

Fallbeispiel " Trocknung von Konstruktions- und Schnittholz"

In der Schweiz wird mehr getrocknetes Holz verlangt, als von den Sägereien produziert wird. Wegen dem internationalen Wettbewerb und den damit zusammenhängenden geringen Margen ist es den kleineren bis mittleren Sägereien nicht möglich, in Trocknungssysteme zu investieren. Die Kondensationstrocknung bietet sich als energieeffizientes und kostengünstiges Verfahren für die Vortrocknung an. Das Vakuumtrocknungsverfahren kann wirtschaftlich vor allem für die Trocknung von Produkten ab 40 mm Dicke eingesetzt werden. Die schweizerische Holzindustrie unternimmt grosse Anstrengungen, um den Importanteil des technisch getrockneten Holzes zu verringern und die Eigenproduktion zu erhöhen. Würde der ganze Bedarf an technisch getrocknetem Holz in der Schweiz produziert und mit elektrischen Verfahren getrocknet, würde der Strombedarf dafür um das 4-fache gegenüber dem aktuellen Stand von ungefähr 15 GWh pro Jahr ansteigen. Bei den Sägereien fällt eine grosse Menge an Restholz an, das neben der Papier- und Holzplattenindustrie auch in der Wärmeerzeugung eingesetzt werden könnte.

Es besteht auch in dieser Branche ein Bedarf an Weiterbildung in Richtung Betriebs- und Energiewirtschaft. Am Verbandseminar für die Sägereien oder in einem höheren Semester an der Ingenieurschule in Biel (SISH) wären Vorträge (Vorlesungen) über Energie-/Leistungskosten erwünscht.

Fallbeispiel "induktives Schmelzen von Metallen"

In der Schweiz werden pro Jahr über 100'000 Tonnen Gusseisen hergestellt. Aus Alu-Schrott, Primäraluminium und Sekundärmetallen werden etwa 17'000 Tonnen Aluminiumguss sowie ca. 100'000 Tonnen Aluminiumbolzen produziert. Der elektrische Induktionsofen ist prädestiniert für ein umweltschonendes Schmelzen. Bei Gusseisen liegt der dafür benötigte Primärenergiebedarf unter Annahme des schweizerischen Kraftwerkmixes tiefer als beim koksbeheizten Kupolofen. Beim Schmelzen von Aluminium ist wegen des geringeren Abbrandes die Induktionsofen energieeffizienter als gasbeheizte Schmelzöfen. Bei der Wahl des Energieträgers spielt der Energiepreis eine wichtige Rolle. Auf elektrisches Schmelzen wird umgestellt, wenn sich die Produktionskosten nicht erhöhen und gleichzeitig die Qualität der Produkte gesteigert werden kann. Diese Qualitätssteigerung ist mit elektrischen Produktionsverfahren gegeben. Die Stromkosten lassen sich nur mit optimierten Lastverläufen und daran angepassten Tarifen noch wirtschaftlich verkraften.

Empfehlungen für die schweizerische Elektrizitätswirtschaft

Bevor die Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) Fördermassnahmen im Bereich der elektrischen Produktionsverfahren unternehmen, müssen die Kundenbedürfnisse und deren Produktionsprozesse genau bekannt sein. Neben den reinen Energiekosten spielen verschiedene weitere Faktoren bei der Beurteilung der Energieträger eine wichtige Rolle:

- erzielbare Produktequalität
- Fertigungsablauf Automatisierung, Flexibilität, just in time
- Umweltauswirkungen und Kosten: Emissionen, Abfälle

Im Industriebereich hat beinahe jeder Kunde spezielle Randbedingungen und Bedürfnisse. Da nicht jedes EVU für alle Branchen und Verfahren ein genügend tiefes Know-how aufbauen kann, könnte für die Elektrizitätswirtschaft ein Pool von erfahrenen Branchenspezialisten nützlich sein, aus dem ein EVU nach Bedarf Experten zuziehen kann.

Die elektrischen Produktionsverfahren sollten im Berufsbildungsbereich (Erstausbildung und Weiterbildung) stärker berücksichtigt werden. Insbesondere besteht ein Bedarf nach Daten über die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren.

Bei der Anwendung von elektrothermischen Produktionsverfahren können die Leistungskosten häufig mehr als die Hälfte der gesamten Stromkosten ausmachen. Damit die Stromkosten gesenkt werden können, bietet sich eine Leistungsbewirtschaftung an. Kann diese mit dem lokalen oder eventuell sogar mit dem regionalen EVU koordiniert werden und der Leistungsbezug in Zeitbereichen kritischer Belastungsverhältnisse des Stromversorgers reduziert werden, bestehen gute Voraussetzungen für die Senkung der Kosten. Dies führt auch zu einer volkswirtschaftlich sinnvollen Ausnützung der bestehenden Elektrizitätsversorgungsinfrastruktur.

1. Résumé

Objectifs de l'étude

La gamme des procédés électrotechniques dans l'industrie est extrêmement étendue et variée, tant en ce qui concerne les technologies auxquelles ils font appel que les possibilités d'utilisation dans les différentes branches de la production industrielle. A part les applications classiques que l'on connaît dans la métallurgie et l'usinage des métaux (fusion et soudage à l'arc, chauffage par induction et par résistance, etc.) ainsi qu'en technologies des procédés industriels (compression mécanique de la vapeur), il existe d'autres procédés, plus récents (chauffage diélectrique et par rayonnement infrarouge, séchage par condensation, faisceau d'électrons, plasma, etc.), qui sont utilisés dans les branches les plus diverses pour nombre de produits et d'étapes de production.

Dans la publication Ravel intitulée "Elektrische Produktionsverfahren" (Procédés électrotechniques de production) [1] sont recensés et décrits les technologies et les procédés aujourd'hui connus. Le présent rapport décrit les possibilités d'application des procédés électrotechniques de production dans un certain nombre de branches choisies. Parmi les nombreuses applications existantes, trois procédés y sont examinés de plus près:

- le séchage de la peinture par rayonnement infrarouge dans le secteur des réparations automobiles
- le séchage du bois de construction et du bois de sciage
- la fusion de métaux par induction

Ces exemples ont été examinés au point de vue des conditions marginales suivantes:

- ampleur de leur utilisation en Suisse
- rentabilité à l'échelon de l'entreprise
- diminution de la dépense d'énergie au niveau de l'énergie primaire
- diminution des atteintes à l'environnement
- possibilités de promotion

Les bilans portant sur l'énergie et les émissions ont été établis sur la base des données publiées par le projet de recherche "Umweltbelastung der End- und Nutzenergiebereitstellung" (Atteintes à l'environnement dues à la production, au transport et à la distribution d'énergie finale et d'énergie utile) [4], mené par l'EPF de Zurich. Ces calculs prennent en plus en considération la structure de production du secteur électrique en Suisse.

Fabricants d'installations

Les fabricants d'installations peuvent être divisés en deux groupes:

- les fabricants qui construisent de grandes installations qu'ils livrent directement à leurs clients. Le client fait partie d'une branche relativement peu représentée (nombre d'entreprises) en Suisse.
- les fabricants qui construisent des composants destinés à des constructeurs d'installations et d'appareils ainsi qu'à des intermédiaires du marché. Ceux-ci revendent à leur tour ces produits à un large public de petits exploitants d'installations.

Le deuxième groupe de fabricants connaît peu le marché final.

Branches étudiées

Les branches mentionnées ci-dessous ont été choisies et étudiées en raison du nombre considérable de clients qu'elles représentent dans le segment des petites et moyennes entreprises ou de l'importance de leur consommation d'électricité totale:

- Travail du bois
- Industrie chimique
- Usinage des métaux
- Pierre et terre (industrie des briques et des tuiles)
- Industrie des matières synthétiques
- Production des denrées alimentaires

Des données sur les développements et les tendances économiques et techniques - quoique moins connues dans ce dernier domaine - ont été obtenues auprès des associations représentant ces branches.

Dans chaque branche, une ou plusieurs entreprises ont ensuite été visitées et interrogées sur la rentabilité de leur utilisation d'énergie et sur les techniques électriques qu'elles utilisent. A cet égard, voici les résultats qui se sont dégagés dans toutes les branches:

- Tendance à produire des biens de plus grande qualité et ayant une valeur ajoutée supérieure
- Pression croissant sur les coûts dans les entreprises soumises à la concurrence international

- Ž Importance croissant des applications dans le domaine du froid (amélioration de la qualité, diminution des répercussions sur l'environnement)
- Ž Remplacement de l'énergie thermique par l'énergie mécanique (p.ex. dans les procédés membranaires de séparation)
- Ž Extension des périodes de production à 24 h sept jours par semaine
- Ž Tendance à utiliser surtout la vapeur pour le domaine des températures allant de 100°C à 200°C (chimie, production de denrées alimentaires)
- Ž Planification des installations le plus souvent par les entreprises de production elles-mêmes

On distingue de plus des conditions marginales spécifiques à chaque branche, et même à chaque entreprise. Seul un contact soutenu et de longue durée avec la clientèle peut permettre aux fournisseurs d'énergie de les découvrir.

Exemple de cas: le séchage de la peinture par rayonnement infrarouge dans le secteur des réparations automobiles

Le séchage de la peinture par rayonnement infrarouge dans le secteur des réparations automobiles est un procédé associant la rentabilité à une utilisation rationnelle de l'énergie. Ce procédé permet une diminution des coûts d'environ Fr. 50.- par sinistre par rapport au séchage traditionnel par circulation d'air. Grâce au séchage par rayonnement infrarouge, la quantité de CO₂ rejetée dans l'air est 20 fois moins importante. De très nombreuses carrosseries sont équipées de petits systèmes à infrarouge, mobiles, pour les petites réparations. Les systèmes de plus grande taille avec cabine et rail sont cependant moins répandus. Une des raisons en est probablement que la rentabilité de tels systèmes n'est pas ou peu souvent évaluée. L'Union Suisse des Carrossiers, les fournisseurs de peinture ou encore les centres de formation de la branche pourraient pourtant informer les décideurs de la branche des résultats obtenus lors de comparaisons de rentabilité entre les différents systèmes.

Exemple de cas: le séchage du bois de construction et du bois de sciage

En Suisse, les scieries exigent plus de bois séché qu'elles n'en produisent. La concurrence internationale et les faibles marges qui en découlent ne permettent pas aux petites et moyennes scieries d'investir dans des systèmes de séchage. Pour le préséchage, le procédé de séchage par condensation est le plus économique tout en faisant une utilisation rationnelle de l'énergie. Le procédé de séchage sous vide est économique surtout pour des produits ayant au moins 40 mm d'épaisseur. L'industrie suisse du bois déploie de grands efforts pour réduire les importations de bois séché à l'aide de procédés techniques et augmenter la production nationale. Si les besoins suisses en bois séché à l'aide de procédés techniques étaient couverts par la production nationale, les besoins en électricité pour le réaliser se multiplieraient par quatre par rapport à

ce qu'ils sont actuellement, soit environ 15 GWh par an. La grande quantité de sous-produits du bois restant aux scieries pourrait, à part son utilisation dans l'industrie du papier et celle des panneaux de bois, servir à la production de chaleur.

Il existe aussi dans cette branche un besoin de perfectionnement dans le domaine des énergies et celui de la gestion d'entreprise. Il serait souhaitable que des exposés ou même des tours sur les coûts de l'énergie et de la puissance soient présentes lors des séminaires de l'association des scieries ou, à un niveau supérieur, à l'Ecole Suisse d'Ingénieurs et de Techniciens du Bois (SISH) à Bienne.

Exemple de cas: la fusion de métaux par induction

Plus de 100'000 tonnes de fonte sont produites en Suisse. Environ 17'000 tonnes de produits coulés en aluminium ainsi que 100'000 tonnes d'aluminium sous forme de billettes sont produites à partir de déchets d'aluminium, d'aluminium primaire et de métaux de seconde fusion. Le four électrique à induction est tout indiqué pour une fusion respectueuse de l'environnement. Dans ce système, la quantité d'énergie primaire nécessaire à la fusion est inférieure à celle requise par le système du cubilot alimenté au coke; cet état de fait est toutefois intimement lié à la structure de type mixte des centrales en Suisse. Dans le cas de la fusion de l'aluminium, le four à induction permet, grâce à une perte au feu plus faible, une utilisation plus rationnelle de l'énergie que le four à gaz. Le prix de l'énergie joue un rôle important lors du choix d'une source d'énergie. On opte pour la fusion à l'électricité lorsque les coûts de production n'augmentent pas et qu'en même temps la qualité des produits peut être améliorée. Cette dernière exigence est remplie avec les procédés électrotechniques de production. Une optimisation des variations de charge et des tarifs adaptés sont les conditions essentielles pour que les coûts de l'électricité restent économiquement supportables.

Recommandations au secteur économique suisse de l'électricité

Avant de prendre des mesures d'encouragement dans le domaine des procédés électrotechniques de production, les entreprises d'électricité doivent connaître précisément les besoins de leurs clients et les processus de production qu'ils utilisent. A part les seuls coûts de l'énergie, divers autres facteurs jouent un rôle important dans l'évaluation d'une source d'énergie, à savoir:

- Ž la qualité des produits atteignable
- Ž le processus de fabrication: automatisation, flexibilité, just in time
- Ž les répercussions sur l'environnement et leur coût: émissions, déchets

Dans l'industrie, presque chaque client a ses conditions marginales et ses besoins propres. Les entreprises d'électricité ne peuvent pas toutes se façonner un know-how suffisamment approfondi dans toutes les branches et tous les procédés; il pourrait par

consequent être utile au secteur de l'électricité de constituer un pool de specialists ayant l'expérience de ces branches, auprès duquel une entreprise d'électricité pourrait au besoin faire appel à des experts.

Les procédés électrotechniques de production devraient tenir une place plus importante dans la formation professionnelle (formation de base et formation continue). Un besoin de données se fait notamment sentir concernant la rentabilité de ces procédés.

En matière d'application de procédés de production électrothermiques, le coût de la puissance constitue souvent plus de la moitié du coût total de l'électricité. Réduire le coût de l'énergie est possible grâce à une meilleure gestion de la puissance. Si celle-ci peut être effectuée en collaboration avec l'entreprise d'électricité locale, voire régionale, et que le prélèvement de puissance peut être réduit pendant les périodes où la charge atteint un niveau critique pour le fournisseur d'électricité, les conditions sont favorables à une réduction du coût de l'électricité. De tels ajustements ont également pour conséquence une exploitation judicieuse, au niveau de l'économie nationale, de l'infrastructure en place pour l'approvisionnement en électricité.

2. Ausgangslage und Aufgabenstellung

Das Ressort 12 " Prozesse in der Industrie" des Impulsprogramms Ravel formulierte 1990 die Ausgangslage für das Ravel-Untersuchungsprojekt 12.55 folgendermassen:

"Die Palette der industriellen Elektro-Verfahren ist sowohl bezüglich der Prozesstechniken als auch hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten in den verschiedenen Branchen der industriellen Produktion ausserordentlich breit und vielfältig. Neben den bekannten, klassischen Anwendungen in der Metallurgie und Metallbearbeitung (Lichtbogen-Schmelzen und -Schweissen, Induktionsefwärmung, Glühofen etc.) sowie der Verfahrenstechnik (Brudenverdichtung) gibt es weitere "neuere" Verfahren (Dielektrische und Infrarot-Erwärmung, Kondensationstrocknung, Elektronenstrahl und Plasma etc.), die sich in den verschiedensten Branchen für viele Produkte und Produktionsschritte anwenden lassen.

Elektrische Produktionsverfahren und Prozesstechniken zeichnen sich in der Regel (einzeln oder in Combination) durch folgende Eigenschaften aus:

- hohe energetische Effizienz (es wird praktisch nur das eigentliche Werkstück/Produkt erwärmt/getrocknet)
- hohe Effizienz bezüglich Primärenergieeinsatz trotz Umwandlungsverlusten bei der Elektrizitätserzeugung
- geringe Umweltbelastung am Ort der Anwendung
- Rohstoffeinsparung (weniger Abbrand/Oxydation)
- höhere Produktequalität (genaue Regulierung der Prozessführung, definierbare Umgebungsatmosphäre, schonendere Behandlung der Produkte)
- Erhöhung der Produktivität (kurze Standzeiten, Intergrierbarkeit in den Produktionsablauf, Automatisierungsmöglichkeiten)
- Verbesserung der Arbeitsplatzqualität (weniger Verlustwärme/Abgase)

Dank diesen Eigenschaften finden die Elektroverfahren eine zunehmende Verbreitung in der industriellen und teilweise auch gewerblichen Produktion. In beinahe allen Branchen finden sich Anwendungsmöglichkeiten; die Innovationsrate, insbesondere hinsichtlich Steigerung der Produktequalität, ist hoch."

In der Ravel Publication " Elektrische Produktionsverfahren" [1] sind die heute bekannten Technologies und Verfahren zusammengestellt und beschrieben. Die Elektrizitätswirtschaft gab der Ravel-Leitung die Zusage, die Erkenntnisse in eigener Regie und mit eigenen Mitteln umzusetzen. In diesem Projekt werden nun die Grundlagen der Umsetzung bei den Elektrizitätswerken erarbeitet.

Das Ziel des Projektes ist die Identifikation der elektrischen Produktionsverfahren, welche sich unter den Bedingungen

- Wirtschaftlichkeit auf der Ebene Unternehmung
- Senkung des Energieaufwandes auf der Primärebene
- Reduktion der Umweltbelastung

am Produktionsstandort Schweiz in einem breiteren Umfang anwenden lassen. Primär untersucht werden die Produktionsstandorte in den Verteilgebieten der am Projekt beteiligten Werke. Diese Gebiete dürften einen repräsentativen Querschnitt der Schweiz bilden.

Den Berechnungen des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen wird der schweizerische Produktionsmix bei der Elektrizitätserzeugung zugrunde gelegt. Der Produktionsmix hat in anderen Ländern eine andere Zusammensetzung und die Berechnungsgrundlagen sind demnach je nach Standortbetrachtung verschieden. Die Daten für dieses Projekt sind aus der Literatur [4] entnommen. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Umwandlungsfaktoren:

Art Endenergie	Endenergie [kWh]	Primärenergie [kWh]	CO ₂ - Emission [kg/kWh]
Strom Mittelspannung	1	1.59	0.0175
Strom Niederspannung	1	1.72	0.0228
Heizöl EL ab Regionallager	1	1.17	0.0363
Gas Hochdruck Schweiz	1	1.12	0.0226
Steinkohlenkoks	1	1.19	0.0173

3. Analyse der industriellen Struktur im Versorgungsgebiet der am Projekt beteiligten Elektrizitätswerke

Das Schwergewicht in diesem Projekt soll bei "kleinen und mittleren Unternehmungen (KMU)" liegen. Bei den KMU ist der Informations- und Know-how-Austausch wahrscheinlich geringer als bei grossen Firmen. Die KMU bilden anzahlmässig das grösste Segment bei den Industriekunden.

Die Branchenanalyse erfolgte nach der zweistelligen Klassifizierung des Bundesamtes für Statistik

<i>Branchen</i>	<i>Branchen-Code</i>
Nahrungsmittel	21
Getränke	22
Textilien	24
Holzbearbeitung, Möbel	26
Graph. Erzeugnisse	28
Chemische Erzeugnisse	31
Kunststoffwaren	32
Steine und Erden	33
Metallbearbeitung	34
Maschinen- und Fahrzeugbau	35
Elektrotechnik, Elektronik	36
Tierzucht	1
Gartenbau	2

Die Unternehmen AEW, BKW, ENSA und SAK beliefern bei den KMU ungefähr 750 Kunden. 60 % dieser Kunden gehören den Branchen Nahrungsmittel, Holzbearbeitung oder Maschinen- und Fahrzeugbau an. Diese verbrauchen im Kundensegment mit einem Stromverbrauch von 50-500 MWh/a etwa 54% des Stroms. Bei den grossen Industriekunden (500 MWh/a) sind die energieintensiven Branchen chemische Erzeugnisse, Steine und Erden sowie Metallbearbeitung bestimmend.

4. Umfrage bei Anlagenherstellern

Moderne elektrische Produktionsverfahren haben sich zuerst in der Metall- und Maschinenindustrie durchgesetzt, insbesondere durch den Einsatz von induktiven Schmelz- und Wärmeverfahren.

Für den Einsatz elektrischer Produktionsverfahren im Bereich der KMU existiert eine Vielzahl von Anbietern für einen breiten Markt.

In erster Näherung kann man die Hersteller in zwei Gruppen einteilen. Die erste Gruppe ist jene, die grosse Anlagen herstellt und die Kunden direkt beliefert. Der Kunde ist in einer Branche tätig, welche in der Schweiz mit relativ wenigen Betrieben vertreten ist. Ein Beispiel: Die wenigen grossen Giessereien in der Schweiz werden von einigen wenigen Herstellern bedient. Der Markt ist ausreichend bekannt, und die Hersteller kennen die Standorte ihrer Produkte.

Die zweite Gruppe der Hersteller ist jene, die Komponenten für Anlagen herstellt. Diese werden an Apparate- und Anlagenbauer sowie Zwischenhändler geliefert, welche diese in der Schweiz an einen breiten Kundenkreis von kleinen Anlagenbetreibern weiterverkauft.

Ein Beispiel: Infrarot-Komponenten werden in Deutschland von mehr als einer Grossfirma produziert. Diese liefern die Komponenten an viele Apparate- und Anlagenbauer, welche ihre Anlagen in die Schweiz liefern. Die Hersteller der IR-Komponenten können keine Aussage über deren Einsatz in der Schweiz machen.

Die erste Gruppe, welche den Markt ausreichend kennt, weil sie einen kleinen bekannten Kundenkreis hat, ist in der Regel aus Konkurrenzgründen nicht bereit, ihr Wissen über den Standort von Anlagen preiszugeben.

Die zweite Gruppe von Herstellern besitzt kein Wissen über den Standort und den Einsatz ihrer Produkte auf dem Schweizer Markt. Ihr Wissen beschränkt sich auf ihren direkten Markt, und dies sind Anlagenbauer oder Zwischenlieferanten.

Aus der Umfrage lässt sich folgende Schlussfolgerung ziehen: Die Anlagenhersteller sind wichtige Ansprechpartner bei der Erarbeitung von Prozess-know-how; für Marktinformationen bilden sie aber eine wenig ergiebige Quelle. Trotzdem lassen sich aus dieser Umfrage einige Aussagen über den Einsatz von elektrischen Produktionsverfahren machen:

- Ž Bei grösseren Anlagen, welche auch fossil beheizt werden könnten, spielt der Strompreis im Vergleich zum Erdöl- oder Gaspreis keine wesentliche Rolle, da der Energiepreis mehr ins Gewicht fällt, als die Investitionskosten.
- Ž Bei Anlagen, welche durch Einsatz eines neuen Verfahrens Strom einsparen, ist die Einsparung über den Energiepreis im Vergleich zu den Investitionskosten wesentlich.
- Ž Bei kleinen Anlagen sind die einfache Handhabung und die Investitionskosten wichtiger als die Einsparung bei den Energiekosten.

- Ž Marktwirtschaftliche Randbedingungen sind wichtig. Eine enge Zusammenarbeit bezüglich Technik und Lastmanagement zwischen Stromversorger und Kunde ist für den Einsatz vieler elektrischen Produktionsverfahren entscheidend.
- Ž Die Anforderungen an die Produktequalität und die zeitliche sowie mengenmäßige Flexibilität steigt. Dieser Trend begünstigt die elektrischen Produktionsverfahren.

5. Prozess- und Verfahrensanalyse in ausgewählten Branchen

Bei den Begriffen " Prozesse, Verfahren und Technologies" bestehen keine festen Definitionen und Abgrenzungen. In dieser Studie werden folgende Definitionen verwendet: Ein Prozess kann mit verschiedenen Verfahren "gefahren" werden. Diese Verfahren wiederum erfordern den Einsatz verschiedener, elektrischer oder fossiler Technologies.

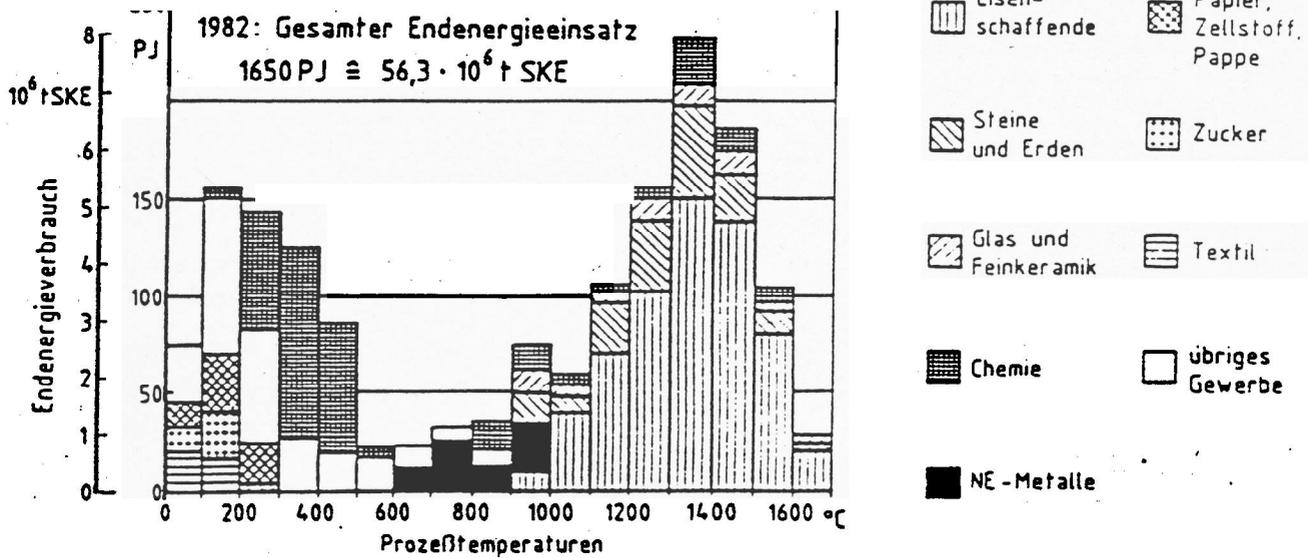
Beispiel Holzbearbeitung:

<i>Produkt</i>	<i>Prozesse</i>	<i>Verfahren</i>	<i>Technologies</i>
Bretter/Balken	Zerlegung von ganzen Stämmen	sägen	Gattersäge Kreissäge
		trennen	Wasserstrahl Laser
	Trocknen von Brettern/Balken	trocknen	Aussenluft Warmluft Mikrowellen/HF Kondensation
Brett-Schichtholz		

Zu den elektrischen Produktionsverfahren zählen folgende Verfahren:

<i>Elektrothermische Verfahren</i>	<i>Elektrostrahl Verfahren</i>	<i>Elektrochemische Verfahren</i>	<i>Elektromechanische Verfahren</i>
- Widerstandserwärmung - Induktionserwärmung - Lichtbogenerwärmung - Dielektrische Erwärmung von HF- bis Mikrowellen - Infrarotemkirmung - Ultraviolet - Funkenerosion	- Plasmastrahl - Elektronenstrahl - Laserstrahl	- Elektrolyse - Galvanotechnik - Elektrochemische Metallbearbeitung	- Elektrostatik - Ultraschall - Hochleistungs-Impulsbearbeitung - Membran-trennung - Drehzahlregulierte Antriebe - Kältemaschine/ Wärmepumpe - Brüderverdichtung

Ein wichtiges Kriterium für die Wahl des Verfahrens ist das vom Prozess benötigte Temperaturniveau. Das erforderliche Prozesstemperaturniveau liegt in den verschiedenen Branchen auf unterschiedlicher Höhe. Eine Untersuchung in Deutschland im Jahre 1982 [3] zeigt folgende Ergebnisse:



Folgende Branchen, welche bezüglich Anzahl Betriebe und Stromverbrauch in den Gebieten der am Projekt beteiligten Elektrizitätsversorgungsunternehmen eine wichtige Stellung einnehmen, sind in diesem Projekt untersucht worden:

- Ž Holzbearbeitung
- Ž Chemische Erzeugnisse
- Ž Metallbearbeitung
- Ž Ziegelherstellung
- Ž Kunststoffwaren
- Ž Nahrungsmittel

Folgendes zweistufiges Vorgehen hat sich bewährt. Zuerst wurde über den Branchenverband, eine Fachschule der Branche oder durch Literaturstudium die Branchenstruktur erarbeitet. Danach wurde mit dem technischen Verantwortlichen eines typischen Betriebes dieser Branche ein Interview durchgeführt mit dem Ziel, die Energiesituation im allgemeinen und die Anwendung elektrischer Produktionsverfahren im speziellen zu

erfassen. Dabei sind die im Anhang 1 bis 6 beigefügten Tabellen über die verwendeten Prozesse und Verfahren erarbeitet worden. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Aussagen dargestellt. Die Untersuchungen und Gespräche sind von verschiedenen Personen geführt worden, die Untersuchungstiefe ist daher nicht homogen ausgefallen.

5.1 Holzbearbeitung

Diese Branche wurde in Zusammenarbeit mit der schweizerischen Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH) in Biel untersucht. Die schweizerische Holznutzung wird im wesentlichen in die Teile Stammholz- sowie Industrie- und Brennholznutzung unterteilt. Die weitere Untersuchung beschränkt sich im wesentlichen auf die Stammholznutzung. Der Grund ist der eher grossindustriell strukturierte Bereich der Industrie- und Brennholznutzung.

Die Holzbranche hat Studien und Untersuchungen zu den Themen Materialfluss und Ökologie erstellen lassen. Es wäre laut SISH wünschenswert, wenn auch über die angewendeten Prozesse, Verfahren und Technologies Unterlagen vorhanden wären.

Der Anteil der Stromkosten an den Produktionskosten beträgt in der Holzindustrie durchschnittlich 4.6 % (max. 9.5% min. 3.4%).

Der Investitionsbedarf im Schweizer Holzgewerbe ist gross. Der Trend könnte in Richtung vermehrtem Outsourcing gehen. Dieser Bedarf wird im Bereich Schreinerei/Zimmerei grösser sein als bei Sägereien. Letztere haben bereits relativ viel gemacht. Einen Bedarf sehen die Vertreter der SISH auch in den Bereichen Marketing (Marktanalysen, Produkteentwicklung etc.) und Technik (Verfahren, neue Anwendungen etc.).

Im Anhang 2 ist eine Matrix der Produkte, Prozessschritte sowie der Verfahren und Anwendungen beigefügt. Darin ist angegeben, welche Prozessschritte elektrisch oder mit fossilen Energieträgern betrieben werden.

In den Verfahren Trocknen, Trennen und Oberflächenbehandlung liegen möglicherweise noch ungenützte Potential für elektrische Produktionsverfahren vor.

5.2 Chemische Erzeugnisse

In der Schweiz werden vor allem Feinchemikalien, höher veredelte Zwischenprodukte und chemische Endprodukte hergestellt.

Von Bedeutung sind folgende Produkte:

- Pharmazeutika
- Farbstoffe
- Pigmente
- Druckfarben
- Optische Aufheller (Waschmittel)
- Parfüms, Aromen
- Pflanzenschutzmittel
- Kunststoff-Additive
- Spezialitäten für Elektronikindustrie
- Bauchemische Stoffe

Energieanwendungen

- Die Prozesse laufen im Temperaturbereich zwischen -20°C und 300°C ab. Der Schwerpunkt liegt bei $0 - 5^{\circ}\text{C}$ und bei $50 - 150^{\circ}\text{C}$.
- Wärmeanwendungen werden meist mit Dampf betrieben (5 -15 bar bei der Anwendung). Bei einem Produktionsbetrieb macht die Dampferzeugung meist etwa 50 % des Gesamtenergieaufwandes aus.
- Das Kondensat wird häufig rückgeführt und es entsteht Abwärme auf dem Temperaturniveau von etwa $80 - 90^{\circ}\text{C}$.
- Im Labor werden Wärmeanwendungen (z.B. Beheizung von Bädern) meist elektrisch betrieben.
- Der Strom wird vor allem für Antriebe und zur Erzeugung von Kälte, Druckluft und Vakuum benützt. Bei einzelnen Produktionsbetrieben werden bis zu 50% des Stromes für die Kälteerzeugung eingesetzt.

- Ž Kälte: steigende Bedeutung in Kristallisation, Condensation von Gasen, in der Reaktortechnik und bei sicherem Handling von Lösungsmitteln.
- Ž Druckluft: Einsatz sehr breit und vor allem im Explosionsschutzbereich
- . Vakuum: Erzeugung durch elektrisch angetriebene Pumpen
Trend-im Labor Dezentrale Erzeugung

Wichtige Randbedingungen

Den Sicherheitsaspekten wird in der chem. Industrie eine hohe Bedeutung zugemessen. Ein Wärmeträger sollte bzgl. der Temperatur daher nur wenig über derjenigen des beheizten Mediums liegen.

Elektrische Anwendungen

- Thermische Energie wird zunehmend durch mechanische Energie ersetzt. Zum Beispiel Membrantrennverfahren statt Destillationstrennverfahren.
- Im Labor werden Bäder elektrisch beheizt (kein Dampfnetz vorhanden)
- Reinigung mit Ultraschall: Membranen und Filter, Laboranwendungen
- Reinigung mit Wasserhochdruck und CO₂ - Eiskristallen
- UV-Strahlung: Sterilisation
Entkeimung von Wasser
Oberflächenbehandlung (Härtung)
- Brudenverdichtung bei mehrstufigen Destillationskolonnen
- Elektrische Rohrbegleitheizungen (an Stelle von Warmwasser oder Dampf);
 - gute Regelbarkeit
 - keine Probleme mit Vereisung bei Aussenanlagen und Stillstandzeiten
 - geringe Investitionen
- Sehr stromintensiv sind Umweltschutz-Anlagen (his 30% der Gesamtenergie eines Processes): Verbrauch für Ventilatoren, Pumpen, Filtrierung, ARA etc. Es besteht ein Trend zu im Prozess integrierten Umweltschutzmassnahmen.

Beurteilung der Zukunft durch Branchenvertreter

Ž Ausdehnung der Produktion von 5 auf 7 Tage.

- Stromverbrauch und Leistungsspitze wird nicht stark ansteigen.

Ž Druckluft- und Vakuumverwendung bleiben gleich.

Ž Die Kälteproduktion wird zunehmen. Damit wird die Kältespeicherung zu einem Thema. Auch die Raumluftkonditionierung (Luftung, Klimatisierung) wird an Bedeutung gewinnen. Die untere Grenze des Temperaturbereichs bei den Prozessen wird sich von -25°C auf -70°C verschieben.

Ž Membrantrennverfahren in der Wasseraufbereitung werden zunehmende Bedeutung erlangen.

Ž Eine Alternative zu Dampfnetzen ist nicht in Sicht. Vor allem die Explosionschutzbestimmungen sprechen zugunsten von Dampf als Wärmeträger gegenüber Elektrizität.

Planung von Anlagen

Die Anlagen werden mehrheitlich von der eigenen Planungsabteilung projektiert. Es ist schwierig, ausserhalb der Schweiz Lieferanten zu finden, welche Speziallösungen entwerfen und anbieten.

Im Anhang 3 ist eine Matrix beigefügt, welche elektrische Produktionsverfahren in Beziehung zu den Prozessschritten in der chemischen Industrie setzt.

5.3 Metallbearbeitung

In der Metallbearbeitungsbranche wurde keine Strukturanalyse vorgenommen. Aus der umfangreichen Literatur über elektrothermische Anwendungen wurde eine Prozess-/Anwendungsmatrix erstellt (siehe Anhang 6).

5.4 Ziegelindustrie

Der Verband der schweizerischen Ziegelindustrie (VSZ) umfasst alle Produzenten von Backsteinen und Ziegel aus Ton. Die 30 Werke produzieren mit ca. 980 Mitarbeitern eine jährliche Menge von ca. 1.4 Mio. t Backsteine und Dachziegel. Die Branche unterhält ein Prüfungs- und Forschungsinstitut in Sursee, das die Qualität der Erzeugnisse sicherstellt und neue Produkte testet.

Neben dem VSZ gibt es auch noch den europäischen Verband (Federation Europeenne des Fabricants de Tuiles et de Briques TBE).

Anteil der Energieträger (1994):

Elektrizität	8 %
Gas	45%
Heizöl S	38%
Heizöl EL	6 %
Verschiedene	3 %

Der Energieverbrauch pro Backstein beträgt im Durchschnitt 5.7 kWh. Die Energiekosten betragen etwa 10-20% des Verkaufspreises.

Planung und Bau der Anlagen

In diesem Markt sind für jede Komponente verschiedene Lieferanten vorhanden. Weder Planung noch Ausführung erfolgt durch Anbieter einer Gesamtleistung. Die Planung erfolgt in vielen Werken intern.

Den elektrothermischen Produktionsverfahren wird bei den heutigen Energiepreisen wenig Chancen eingeräumt. Da die vorgelagerten Prozesse nicht zeitkritisch sind und auf Vorrat produziert wird, könnte in den Werken das Lastmanagement von Interesse sein.

Im Anhang 5 ist eine detaillierte Beschreibung des Produktionsprozesses beigefügt.

5.5 Kunststoffwaren

Der Strom ist bei der Kunststoffindustrie der Hauptenergieträger. Die Prozesswärme für die Kunststoffbearbeitung wird elektrisch erzeugt. Spritzgussmaschinen benötigen für die Verflüssigung des Rohstoffes bei den Düsen ein Temperaturniveau von ungefähr 200-400°C. Die Formen der Spritzgiessmaschinen müssen auf ca. 50°C gekühlt werden. Das Hydrauliköl der Maschinen wird mittels Wärmetauscher auf einer Temperatur von ungefähr 40°C gehalten.

Häufig wird die Abwärme zurückgewonnen und mit Hilfe einer Wärmepumpe für die Raumwärmenutzung in Büros, Lager oder weiteren Produktionsräumen genutzt.

Neu werden mechanisch statt hydraulisch angetriebene Spritzgiessmaschinen angeboten. Daneben sind kaum neue Verfahren und Anwendungen in Sicht.

5.6 Nahrungsmittel

Die Branche der Nahrungsmittelherstellung kann wie folgt aufgeteilt werden:

- Herstellung von Fleischwaren
- Milchverwertung
- Herstellung von Futtermitteln
- Obst- und Gemüseverarbeitung
- Herstellung von Zucker, Zucker- und Schokoladenwaren
- Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln

Diese Branche ist sehr heterogen und bezüglich von Anwendungen vielfältig. Die Struktur wurde daher nicht weiter untersucht. Aus der Literatur [13] wurde eine Prozess-/ Anwendungs-Matrix übernommen (siehe Anhang 1).

Ein Gespräch mit einem Hersteller von Konserven ergab folgende Ergebnisse:

- 80 % des Energiebedarfs wird in Form von Sattedampf (9 -11 bar) gedeckt, der mit einem Gaskessel und einem Ölspitzenkessel erzeugt wird. Der Dampf wird zum Erwärmen, Antauen, Pasteurisieren, Sterilisieren, Kochen und Blanchieren verwendet.
- Der Strom wird vor allem für Beleuchtung und Antriebe verwendet. Aufteilung des Stromverbrauchs:

Beleuchtung, Antriebe	~ 70 %
Tiefkühlager (-20°C)	10%
ARA	10%
Druckluftherzeugung	8 %
- Ein Spitzenlastmanagement begrenzt die Spitzenleistung.
- In der Verpackung werden Folien durch Heissluft (180°C, aus elektrischen Widerstandsewärmern (Lesitung ca. 30 kW) geschrumpft. Versuche laufen, diese Schrumpfung mit Hilfe von IR-Strahlern zu erzielen.
- Eventuell könnten Eindickungsprozesse, welche heute durch Verdampfen geschehen, durch Membrantrennverfahren ersetzt werden.
- Die Anlagen werden mit eigenen Mitarbeitern und Unterstützung der Lieferanten geplant. Die Lieferanten stammen vorwiegend aus der Schweiz, Italien, Frankreich und Deutschland.

6. Fallbeispiel " Lacktrocknung im Autoreparaturgewerbe mit IR-Strahlung"

Die Aussagen in diesem Kapitel basieren auf Untersuchungen der RWE Energie AG in Essen [2]. Die Energie- und emissionsbilanz sind auf schweizerische Verhältnisse angepasst worden.

6.1 Beschreibug des Verfahrens

Die Infrarot Erwärmung ist eine indirekte Erwärmungsmethode, bei der die Wärme durch elektromagnetische Strahlung übertragen wird. Die Strahlungsenergie wird produziert, in dem ein elektrischer Strom durch ein Widerstandselement fließt. Produkte, die einer von einem Heizelement oder Strahler ausgehenden Strahlung ausgesetzt sind, absorbieren einen mehr oder weniger grossen Teil derselben.

Technisch nutzbar ist nur ein kleiner Teil der Infrarotstrahlung, deren Wellenlänge zwischen $0.8 \mu\text{m}$ und etwa $10 \mu\text{m}$ liegt. Mit grösser werdender Wellenlänge wird die übertragbare Energiemenge geringer.

Die verschiedenen Infrarotstrahler haben ihre besonderen physikalischen Eigenschaften und ihr spezielles technisches Einsatzgebiet. Die Wahl eines Strahlers hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem von :

- Wellenlänge, abhängig von der Absorptionscharakteristik des zu erwärmenden Produktes
- Strahlungsintensität und Aufenthaltszeit des Produktes im Strahlungsfeld
- Verhältnis von Konvektions- zu Strahlungswärme
- Installationsart
- Erwärmungsmuster und Ansprechzeit

Durch die schnelle direkte Wärmeübertragung bei der Infrarotstrahlung werden Trocknungsprozesse mit hohen Leistungsdichten ermöglicht. Mit der hervorragenden Regelbarkeit der eingesetzten Strahler ergibt sich daraus eine energiesparende und intelligente Erwärmungsmethode.

Bei der konvektiven Umlufttrocknung wird in einer Trocknungskabine das ganze Auto auf 60°C aufgeheizt. Eine Gas- oder Ölheizung erwärmt via Wärmetauscher die Umluft. Der Wärmeträger Heissluft wird durch Ventilatoren transportiert und überträgt die Wärme auf die Lackschicht.

Das Trocknungsverfahren mittels Infrarotstrahlen unterscheidet sich im wesentlichen dadurch von der konvektiven Erwärmung, dass hierbei die elektromagnetischen

Schwingungen in der flüssigen Lackschicht eine Erwärmung erzeugen. Eine äussere trocknungshemmende Filmbildung wird damit weitestgehend vermieden. Im Gegensatz zur konvektiven Erwärmung des gesamten Fahrzeugs richtet sich die Trocknung mit Infrarot gezielt und mit hohen Wärmeübertragungsleistungen auf die reparierte Teilfläche.

Vorteile der IR-Trocknung:

- In allen Prozessphasen einsetzbar (Grundierung bis Endlackierung)
- Ž keine komplette Erwärmung der Personenwagen
- Ž Beim Trocknen in Spritzkabinen: Aufheizen - Abkühlen entfällt
- Ž schnelle Durchhärtung, sofortige Montage bzw. Bearbeitung möglich
- Ž kurze Trocknungszeiten ⇒ grösserer Tagesdurchsatz
- ortsunabhängig

Nachteile der IR-Trocknung:

- Bedienung gewöhnungsbedürftig (kann bei unsachgemässer Anwendung zu Verbrennungen und Blasenbildung führen)
- begrenzte Fläche von ca. 2 m²
- Anwendung einseitig und winklig
- braucht Platz: ein Durchlaufofen hat Länge von 40-50 m
- Eventuell Schmutzpartikelprobleme durch mechanisch bewegte Teile

Die Autohersteller werden den zunehmend strengeren Auflagen zur Reduzierung von Schadstoffen und Vermeidung von Abfällen gerechter. Wasser hat sich deshalb in der deutschen Automobilindustrie als Lösungsmittel für Basislacke weitestgehend durchgesetzt. Zwar braucht Wasser gegenüber organischen Lösungsmitteln eine achtfach höhere Verdampfungsenergie, jedoch kompensieren die IR-Verfahrensvorteile die Produktivitätsnachteile dieser umweltfreundlichen Systeme.

6.2 Anwendungen in der Schweiz

In der Schweiz gibt es viele kleine Autoreparaturwerkstätten mit zwei bis drei Mitarbeitern und einem Tagesdurchsatz von ungefähr 4 Autos. Grössere Malereien haben einen Durchsatz von ca. 10 Autos pro Tag. Der überwiegende Teil der Kleinbetriebe ist mit einer Kombikabine (Spritz- und gleichzeitig Trocknungskabine) ausgerüstet.

Tendenzen im Markt:

- In den Autos werden mehr und mehr Kunststoffteile und elektronische Komponenten verwendet. Beide ertragen eine Erwärmung auf hohe Temperaturen schlecht. Es ist daher zunehmend erwünscht, das Auto nur lokal zu erwärmen.
- In der Autoproduktion wird von den Farben auf Lösungsmittelbasis auf Farben auf Wasserbasis umgestellt. Auch im Reparaturgewerbe wird es ein verstärkter Druck in Richtung Pulverlacke, Wasserlacke und festkörperreiche Lösemittellacke geben. Eine Umstellung auf Wasserfarben bedeutet für eine Malerei, dass Investitionen vorgenommen werden müssen: Wasserfarben benötigen einen höheren Luftdurchsatz bei der Belüftung sowie spezielle Spritzpistolen.
- Der von den Kunden verlangte Qualitätsstandard liegt weit über dem europäischen Durchschnitt.
- Die Infrarottrocknung wird im Reparaturbereich für Kleinarbeiten und Retuschen verbreitet eingesetzt.
- Es werden vermehrt nur noch die Schadstellen und nicht mehr ganze Autoteile (z.B. Kotflügel) lackiert (Spot repairs).
- Komplexere Lackierungen (bis zu 6-fache Lackierungen) → kurze Trocknungszeiten werden wichtiger.
- Trend zu grösseren Lackierbetrieben

Die eingesetzten IR-Systeme bestehen mehrheitlich aus Lampen mit einer Leistung von einigen hundert Watt bis etwa 2 kW. Diese sind auf einem Ständer montiert und werden in einem Abstand von 35-50 cm vom zu behandelnden Teil gehalten. Bei der Auswahl ist die Handlichkeit ein wichtiges Kriterium.

6.3 Wirtschaftlichkeit

Kostenstruktur bei den Malereien:

Die Kostenarten in einem Lackierbetrieb, geordnet nach ihrer Wichtigkeit sind:

1. Lohnkosten
2. Kapitalkosten
3. Materialkosten
4. Energiekosten

Die Installation einer IR-Anlage verursacht Kapitalbindung. Die Investitionen einer Anlage auf einem Ständer sind in der Grössenordnung von Fr. 1'000.-- bis Fr. 3'000.--. Für ein Schienensystem an der Wand oder an der Decke ist bei einer Leistung von 20 kW mit Investitionen von Fr. 40'000.-- zu rechnen. Bei einer Amortisationsdauer von 5 Jahren, einem Kapitalzins von 6% und 4 Trocknungen pro Arbeitstag betragen die

Kapitalkosten pro Schadenfall ungefähr Fr. 12.--. Demgegenüber stehen folgende Minderkosten für die Zeit- und Energieeinsparung:

Berechnungsgrundlagen für eine Teilreparatur an einem Personenwagen; 2-Schicht-Wasserlack, durchschnittliche Aussentemperatur 10°C:

Zeiteinsparung:	30 Minuten
Brennstoffeinsparung:	75 kWh
Strommehrbedarf	0.9 kWh
Brennstoffpreis:	3 Rp./kWh
Strompreis:	15 Rp./kWh
Zeitkosteneinsparung:	60 Fr. (Arbeitsstundenansatz 120 Fr./h)
Energiekosteneinsparung:	2.10 Fr.

Pro Schadenfall resultieren somit Minderkosten von ungefähr Fr. 50.-, was vor allem auf die Zeiteinsparung zurückzuführen ist.

Nach Aussage von Branchenvertretern werden bei den Carrosseriewerkstätten zu wenig Wirtschaftlichkeitsüberlegungen durchgeführt.

6.4 Energiebilanz

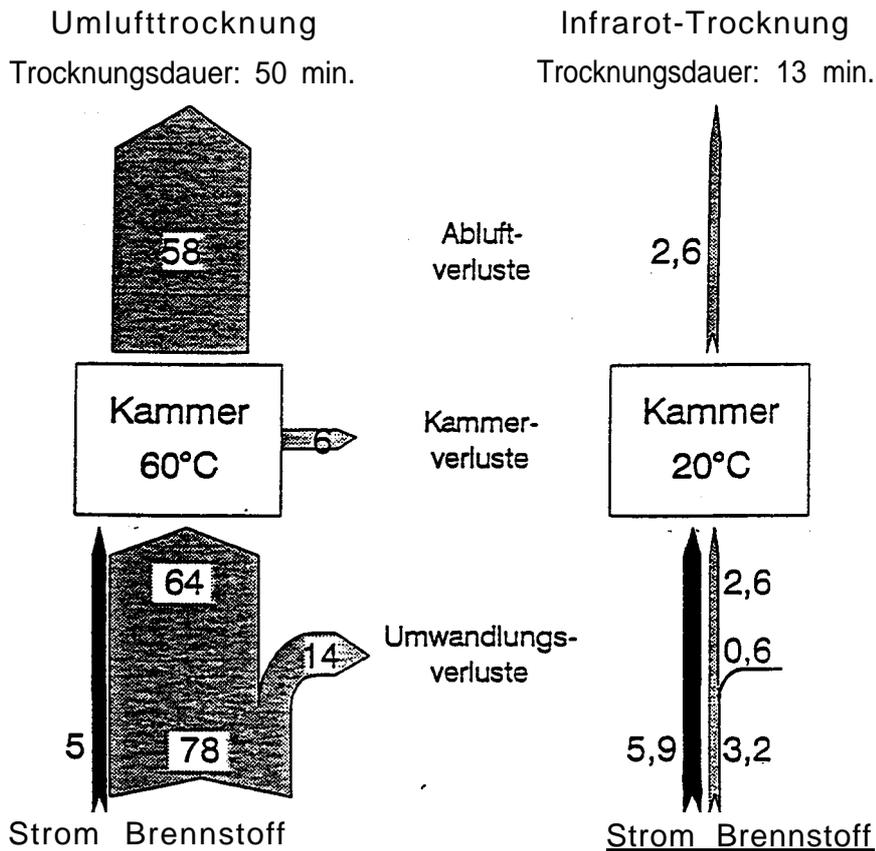
Energieflussbild zur Trocknung einer Teilreparatur an einem Personenwagen gemäss [2]:

Berechnungsgrundlagen:

- . 2-Schicht-Wasserlack, durchschnittliche Aussentemperatur 10°C
- . Arbeits- und Trocknungsverlauf

	<i>Konvektion</i>	<i>IR-Trocknung</i>
2 x Basislack	5 Min	5 Min
Ablüften und vortrocknen	10 Min	5 Min
Abkühlen	5 Min	4 Min
2 x Klarlack; zwischenlüften	8 Min	8 Min
Trocknung	40 Min	8 Min
• bei Konvektion Objekttemperatur	60°C	
. bei IR-Strahlung Kammertemperatur	20°C	
• max. Luftmenge	25'000 m ³ /h	
• Umluftbetrieb 12.5 % Frischluft	3'125 m ³ /h	
Ž Frischluftbetrieb 100%	25'000 m ³ /h	
Ž 2 Ventilatorantriebe, insgesamt.	7 kW	
Ž IR-Strahlerleistung	20 kW	
Ž IR-Strahlerfläche	1.5 - 2 m ²	

Das Energieflussbild sieht folgendermassen aus (Angaben in kWh):



Das Infrarottrocknungsverfahren benötigt somit etwa 20 % mehr Strom, spart aber 95 % an Brennstoffen.

Wenn beim Strom mit dem schweizerischen Kraftwerksmix gerechnet wird, so ergibt sich folgender Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen:

	<i>Umlufttrocknung</i>	<i>Infrarottrocknung</i>
Primärenergie [kWh] ¹	100	14
CO ₂ - Emissionen [kg] ²	21	1

6.5 Umstellungspotential in der Schweiz

In der Schweiz gibt es etwa 2'500 Carrosseriereparaturbetriebe. Davon sind 860 im Verband der schweizerischen Carrosserieindustrie (VSCF) mit Sitz in Zofingen organisiert. Etwa 50-60 der Verbandsmitglieder betreiben reine Malereien. Die durchschnittliche Mitarbeiterzahl beträgt etwa 3 Personen. Nach Aussagen von Branchenkennern sind sehr viele Carrosseriereparaturbetriebe mit kleinen mobilen IR-Systemen für die Kleinreparatur ausgerüstet. Grössere Schienensysteme in Kabinen sind weniger verbreitet. Der Grund liegt in den hohen Investitionen und den Schmutzpartikelproblemen durch die Schienensysteme.

Der Verband hat keine Angaben über die Anzahl Lackierungen pro Jahr in der Schweiz. Auch ist die Anzahl der im Einsatz stehenden Systeme unbekannt. Es kann somit keine Angabe über das Umstellungspotential gemacht werden. Für genauere Kenntnisse müsste eine Umfrage bei den Carrosseriewerkstätten durchgeführt werden.

6.6 Kommunikationskanäle

Die Automalereien werden bezüglich Anwendung der Farben und der Trocknungssysteme vom Farblieferanten beraten. Die wichtigsten Farblieferanten bieten neben Vertreterbesuchen auch spezielle Ausbildungskurse an. Es wird geschätzt, dass etwa 50% der Malereien regelmässig an solchen Kursen teilnehmen. Die Importeure werden auch im Herstellerland bzw. im zentralen europäischen Ausbildungszentrum geschult. Die wichtigsten Farbenlieferanten in der Schweiz sind:

Ž Belfa, Glattbrugg

Ž Graf, Wetzikon

Ž Koch, Urdorf .

¹Umrechnungsfaktoren gemäss Quelle [4]: Elektrizität: schweiz. Kraftwerksmix (Niederspannung): 1.72; Heizöl EL ab Regionallager 1.18; Heizöl bei Verbrennung: 1.25

²Quelle [4]: Elektrizität CH_{mix}-Niederspannung: 22.8 kg/MWh; Heizöl EL 100 kW: 350 kg/MWh_{nutz}

Die IR-Trocknungsanlagen werden hauptsächlich in England, Deutschland sowie Italien hergestellt und durch die Farblieferanten vertrieben. Diese Lieferanten waren interessiert an unabhängigen Vergleichen über den Energiebedarf und die Kosten mit dem konventionellen Umlufttrocknungsverfahren. Die Lehrlinge und Meister werden von den regionalen Verbänden der Carrosserieindustrie ausgebildet. Grosse Ausbildungszentren befinden sich in Bern, Effretikon und Nebikon.

Der Verband der schweizerischen Carrosserieindustrie, bei dem etwa ein Drittel der Carrosseriewerkstätten organisiert ist, hat eine Fachkommission "Lackieren".

In Deutschland wird eine Fachzeitschrift "Fahrzeug- und Metallackierer" (FML) herausgegeben. Die Zeitschrift veröffentlicht auch technische Artikel über Trocknungsverfahren.

6.7 Anforderungen an die Stromtarife

Die Energiekosten fallen bei der bestehenden Kostenstruktur der Automalereien nicht ins Gewicht. Bei zunehmendem Kostendruck kann sich dies jedoch ändern. Die Leistungskosten sind bei einer durchschnittlichen Auslastung bei IR-Anlagen höher als die Energiekosten. Ein Reduktionspotential liegt daher bei der Anwendung von sogenannten Modulationstarifen und der daran angepassten Betriebszeiten der IR-Anlagen. Es sollte bei den kurzen Trocknungszeiten möglich sein, gewisse Unterbrüche bei der Trocknung bei hohen Winterbelastungsspitzen einzuplanen.

7. Fallbeispiel "Trocknung von Konstruktions- und Schnittholz"

Dieses Kapitel wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Lignotec Holzingenieure GmbH in Biel erarbeitet.

7.1 Beschreibung des Verfahrens

Holz aus dem Wald hat einen Wasseranteil von 20-50%

$$\text{Wassergehalt } U[\%] = \frac{\text{Gewicht des Wassers [kg]} \cdot 100}{\text{Gewicht des feuchten Holzes [kg]}}$$

Bauholz muss bis auf einen Wassergehalt von etwa 15% Möbel- sowie Innenausbauholz bis auf 10-12% getrocknet werden. Holz für den Transport (z.B. Export) muss "shipping dry" sein (15 -16%). damit es keinen Schimmel ansetzt. Dies kann an der Luft, jedoch schneller mit technischen Anlagen geschehen. Folgende Verfahren können eingesetzt werden (Quelle [7]):

- Verdunstungstrocknung
- Kondensationstrocknung
- Hochtemperaturtrocknung
- Hochfrequenztrocknung
- Vakuumtrocknung
- Niedrigtemperaturtrocknung

Verdunstungstrocknung

Einsatzbereich: Trocknung grosser Volumen bis tiefe Endfeuchte.

Temperaturbereich:	40-95 °C
Anwendungsgebiet:	alle Holzarten
Feuchtigkeitsentzug:	jede Anfangsfeuchte bis 6% Endfeuchte
Holzdimensionen:	jede Dicke
Trocknungsgeschwindigkeit:	mittel bis schnell

Erwärmung der Luft durch Heizkessel, vorzugsweise befeuert mit Restholz.

Vorteile:

- Ž Trocknung aller Holzarten in jeder Dicke, von jeder beliebigen Ausgangs- bis zu jeder Endfeuchtigkeit mit engen Endfeuchteteranzen möglich.
- Ž Mittlere bis schnelle Trocknungszeiten durch die möglichen hohen Temperaturen.
- Einsatz verschiedener Heizmedien (Holz, Oel, Gas, Elektrizität, Heisswasser). Bei Restholzvenwertung Einsparung von Primärenergie.

Nachteile:

- Grosser Energieaufwand mit hohen Kosten bei relativ schlechtem Wirkungsgrad durch den ständigen Austausch von Frischluft und Abluft. Dieser Nachteil wird aber durch Einsatz von Resthölzern zur Verbrennung teilweise aufgehoben.
- Gefahr von Fehltrocknungen durch die leistungsstarken Trocknungsmöglichkeiten.
- Umweltschutzprobleme durch Abwasser, Dämpfe, Lärm.
- Eventuelle Energieprobleme für Kleinbetriebe ohne Kesselanlage, weil die Anschaffung einer Kesseanlage ausschliesslich für die Trockenkammer in der Regel unwirtschaftlich ist.

Kondensationstrocknung

Einsatzbereich: Trocknung bis "shipping dry".

Temperaturbereich:	25 -45°C (50°C)
Anwendungsgebiet:	alle Holzarten
Feuchtigkeitsentzug:	etwa ab 70% bis 15% (12%)
Holzdimensionen:	jede Dicke
Trocknungsgeschwindigkeit:	langsam bis sehr langsam

Die Luft wird im Kondensationsgerät (Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpe) und durch elektrische Zusatzluftherhitzer erwärmt.

Vorteile:

- Ž sanfte und schonende Trocknung
- Ž hoher Wirkungsgrad
- Ž kleiner Investitionsbedarf

Nachteile:

- Ž bei hoher Feuchtigkeit Gefahr von Pilzbefall
- Ž Verfärbung bei Holzarten mit vielen Gerbstoffen
- Ž lange Trocknungszeiten

Hochtemperaturtrocknung

Temperaturbereich:	100-130°C (150°C)
Anwendungsgebiet:	vorwiegend Nadelhölzer
Feuchtigkeitsentzug:	jede Anfangsfeuchte bis 6 % (4 %) Endfeuchte
Holzdimensionen:	von 80 bis etwa 16 mm Dicke
Trocknungsgeschwindigkeit:	schnell bis sehr schnell

Der Feuchtigkeitsentzug aus dem Holz erfolgt in diesem Fall durch die Verdampfung des Wassers beim überschreiten der Siedetemperatur. Dadurch wird die Diffusion im Holz infolge erhöhten Dampfdrucks stark beschleunigt.

Das Trocknungsmedium bei diesem Verfahren besteht aus einem reinen, überhitzten Wasserdampf (Heissdampf) oder aus einem Heissdampf-Luftgemisch.

Vorteil:

- Kurze Trocknungszeiten

Nachteile:

- Ž Gefahr von Trocknungsschaden
- Ž Verfärbungen
- Ž Endfeuchtestreuungen

Vakuumtrocknung

Einsatzbereich: kleine Volumen, just in time.

Temperaturbereich:	40-50°C
Anwendungsgebiet:	alle Holzarten
Feuchtigkeitsentzug:	jede Anfangsfeuchte bis 8-10%
Holzdimensionen:	jede Dicke
Trocknungsgeschwindigkeit	sehr schnell

Mit dieser Trocknung sollen zwei wichtige Vorteile der schon zuvor beschriebenen Trocknungsverfahren kombiniert werden, nämlich die Trocknung mit niedrigen und deshalb schonenden Temperature (wie bei der Kondensationstrocknung) und mit hoher Entfeuchtungsleistung (wie bei der Trocknung mit hohen Temperaturen). Dies bewirkt einerseits eine sehr schonende, andererseits eine sehr schnelle Trocknung.

Als Heizmedium können Widerstandsheizplatten, Heisswasserwärmetauscher oder Heissluft eingesetzt werden.

Vorteile:

- extrem hohe Trocknungsgeschwindigkeit
- schonende Trocknung durch relativ niedrige Temperaturen

Nachteile:

- Stapelmass und Chargengrösse begrenzt ($1 - 150 \text{ m}^3$), da der maximale Behälterdurchmesser durch den erforderlichen Unterdruck beschränkt ist.
- Bei Plattenbeheizung ist eine aufwendige und zeitintensive Stapelung erforderlich
- Bei Beheizung mit flüssigem Heizmedium und bei Luftumwälzung sind aufwendige Konstruktionen erforderlich
- Beschickung nur mittels Rollwagen und Schienen möglich (keine Direktbeschickung mittels Gabelstapler)
- höhere Kosten gegenüber konventioneller Trocknung
- Lärmprobleme bei Öffnung des Ofens

Hochfrequenz Trocknung

Die dielektrische Erwärmung beruht auf dem Prinzip der Erregung (Wärmebewegung) von elektrisch polaren Molekülen in meist nichtleitenden Stoffen unter Einwirkung eines hochfrequenten elektrischen Feldes. Bei der Hochfrequenzerwärmung im Kondensatorfeld wird eine Spannung mit einer Frequenz von 2 bis 100 MHz zwischen zwei oder mehr Elektroden angelegt.

Für die Trocknung nur einsetzbar für dampfdurchlässige Holzarten wie:

Buche, Ahorn, Birke oder Pappel.

Das Verfahren wird häufig für die Trocknung von Leimen angewendet.

Zusammenfassung

Grundsätzlich können mit den Verfahren Verdunstungstrocknung, Kondensationstrocknung und Vakuumtrocknung alle gebräuchlichen Produkte getrocknet werden. Im Bezug auf die Wirtschaftlichkeit müssen jedoch einige Einschränkungen gemacht werden.

90% der getrockneten Schnittwaren werden mit der Verdunstungstrocknung getrocknet. Dieses Verfahren ist im allgemeinen auch am wirtschaftlichsten und wird daher für alle Sortimente angewendet. Die Baugrößen liegen zwischen 1 m³ und 5000 m³. In den meisten Betrieben werden Anlagen zwischen 20 m³ und 200 m³ eingesetzt. Die Leistung liegt je nach Dimension zwischen 20 und 140 Chargen pro Jahr.

Kondensationstrockner arbeiten mit einem sehr sanften Trocknungsklima und sind deshalb auch eher langsam. Sie brauchen verhältnismässig wenig Energie bis zu einer Endfeuchte von 20%. Unter 20% steigen der Energieverbrauch und die Trocknungszeit nahezu exponential an. Deshalb wird der Kondensationstrockner vor allem als Vortrockner für Laub und Nadelholz-Klotzbretter eingesetzt. Die Baugrößen liegen im selben Bereich wie diejenigen der Verdunstungstrockner. Die Trocknungsleistung beträgt jedoch nur zwischen 25 und 35 Chargen pro Jahr.

Vakuumtrockner sind etwas teurer als Verdunstungstrockner. Dafür sind sie bis zu fünf mal schneller als diese (durchschnittlich ca. zwei mal schneller). Der Vorteil der kurzen Verweilzeit wird vor allem bei den höherwertigen Laubholzern auf Grund der kürzeren Kapitalbindung und beim Bauholz nach Liste wegen der kürzeren Lieferfristen genutzt. Bei Nadelholzern unter 40 mm Dicke arbeiten Vakuumtrockner im allgemeinen nicht mehr wirtschaftlich, weil das Verhältnis zwischen der Trocknungszeit und der benötigten Zeit für das Be- und Entladen ungünstig wird. Die Baugrößen liegen zwischen 1 m³ und 150 m³. In den meisten Betrieben werden Anlagen zwischen 20 m³ und 50 m³ eingesetzt. Die Trocknungsleistung liegt je nach Dimension zwischen 160 und 200 Chargen pro Jahr.

Die optimalen Einsatzgebiete der verschiedenen Trockner können mit der folgenden Tabelle dargestellt werden.

<i>U</i> *	<i>Nadelholz</i>			<i>Laubholz</i>
	<i><40 mm</i>	<i>>40 mm</i>	<i>Bauholz</i>	
80 % bis 30 %	Freiluft Kondensation Verdunstung	Freiluft Kondensation Verdunstung	Freiluft Kondensation Verdunstung	Freiluft Kondensation Verdunstung
30 % bis 20 %	Verdunstung Kondensation	Vakuum Verdunstung Kondensation	Vakuum Verdunstung Kondensation	Vakuum Verdunstung Kondensation
20 % bis 10 %	Verdunstung	Vakuum Verdunstung	Vakuum Verdunstung	Vakuum Verdunstung

**U*: Holzfeuchtigkeit in Gewichtsprozenten der trockenen Holzmasse.

Die 20 grössten Sägereien produzieren etwa 35 % des schweizerischen Produktionsvolumens.

In der Schweiz werden ungefähr 7.7 Mio. m³ Holz verbraucht. Davon werden etwa 3-3.5 Mio. m³ importiert.

Auf der einen Seite werden etwa 2 Mio. m³ Rohholz und Halbfabrikate exportiert, auf der anderen Seite werden jährlich ca. 4 Mio. m³ Rohholz und Halbfabrikate importiert.

Insgesamt ergibt sich ein Aussenhandelsdefizit von rund 2.7 Milliarden sFr. in der Holzwirtschaft. Um dieses Defizit abzubauen, muss die Wertschöpfung im Inland gesteigert werden.

Vom in der Schweiz produzierten Rundholz wird etwa $\frac{2}{3}$ als Nutzholz (Bau- und Möbelholz) genutzt. Die Hälfte davon wird getrocknet verkauft. (Bauholz 15 % Wassergehalt, Möbelholz 10 - 12% Wassergehalt). Die schweizerischen Sägereien trocknen aber nur 10-20% ihres produzierten Nutzholzes. Die 20 grössten Betriebe trocknen etwa 50% der Produktion. Die Sägereien mussten in die Trocknung investieren, um die Marktbedürfnisse abzudecken. Hindernisse dafür sind die konservative Werthaltung der Branche und der grosse Kapitalbedarf (1 -2 Mio. Fr./Mitarbeiter).

Gemäss einer Umfrage unter 9'000 Holzverarbeitungsbetrieben wird in der Schweiz vorwiegend Nadelholz weiterverarbeitet [6]:

Zimmereien	86 %
Hobelwerker	89 %
Kistenfabrikanten	95 %
Leimholzhersteller	96 %
Schreinereien	40 %
Möbelfabrikanten	70 %

Durchschnittlich 41% des Holzes wird ofentrocken eingekauft. Die Tendenz ist deutlich steigend. Durchschnittlich 57% der Sägereiprodukte werden direkt von den Verarbeitern bei den Sägereien gekauft [6]. 13% der Unternehmer möchten vermehrt technisch getrocknetes Holz ab Lager einkaufen können.

Von den Holzverarbeitern (Zimmereien und Schreinereien) werden durchschnittlich 40% der Sägereiprodukte als Halbfabrikate gekauft. Der Trend geht ganz klar weg von der Rohware. Die Holzverarbeiter möchten möglichst vorgefertigte Halbfabrikate als Standardsortimente, anwendungstrocken ab Lager beziehen können.

Nach einer Umfrage von 1991 gibt es in der Schweiz ungefähr 500 Trocknungsanlagen (Quelle [8]):

<i>Betriebsgrösse [Produktion m³]</i>	<i>Anzahl Trocknungsanlagen</i>
- 100	6
101 - 400	34
401 - 1'000	66
1'001 - 2'000	70
2'001 - 5'000	168
5'001 - 10'000	90
10'001 - 20'000	48
+20'000	30
Total	<u>512</u>

Trends

- Ž Mehr verleimtes Bauholz (Trocknung einfacher)
- Ž Verlängerung der Schlagzeit: mehr Holz mit hohem Wassergehalt
- Holzbau: - Elementbau mit grossem Vorfertigungsanteil
- hohe Anforderungen an Winddichtigkeit: gute Trocknung (stabile Konstruktion)

7.3 Wirtschaftlichkeit ,

Grundannahmen:

Trocknungsanlage mit 25 m³ Holzvolumen

Amortisation: 10 Jahre

Zinssatz: 5 %

Annuität: 9.6%

Produkt: Brettschichtholzlamellen 33 mm von 60 % auf 12 % getrocknet (ohne Freiluftvortrocknung)

25m³Trockner-Nettoinhalt

Angaben in Fr.

	Verdunstung	Vakuum	Kondensation	Bemerkungen
Produktionstage/a	330	330	330	
Trocknungszeit [Tage]	5	3	21	
Anzahl Chargen	66	110	16	
Investitionen				
Trockner	120 000	650 000	80 000	
Anteil Heizung	50 000	50 000	20 000	
Total	170 000	700 000	100 000	
Kosten/Jahr				
Kapital für Invest.	22 100	91 000	13 000	Annuität 13%
Versicherung (1%)	1 700	7 000	1 000	
Reparaturen (1%)	1 700	7 000	1 000	
Platzmiete	10 000	10 000	10 000	
Hilfsgeräte	15 000	15 000	15 000	
Kapital für Holz	500	500	500	Holzwert: 10 000 .-
Elektrizität	8 100	27 216	3 912	
Wärme	13 500	6 552	207	
Stapeln/Entstapeln	27 000	43 200	6 210	450 .- Fr./Charge
Holzverluste	15 000	24 000	345 010	.- Fr./m ³
Total	114 600	231 468	54 279	
spezifische Kosten				
Produktion [m ³ /a]	1 500	2 400	345	
spez. Kosten [Fr./m ³]	76	96	157	

Quelle [11]

Mit dem gleichen Schema können mehrere Varianten (mit/ohne Freiluft-Vortrocknung, verschiedene Produkte) gerechnet werden, z.B.:

Bauholz 140 mm von $U_a = 60\%$ auf $U_e = 15\%$ nach 10 Tagen Freiluftvortrocknung:

- Trocknungskosten beim Verdunstungstrockner Fr.135.-/m³
- Trocknungskosten beim Vakuumtrockner Fr. 106.-/m³

Ohne Freiluftvortrocknung:

- Trocknungskosten beim Verdunstungstrockner Fr. 172.-/m³
- Trocknungskosten beim Vakuumtrockner Fr.139.-/m³
- Trocknungskosten beim Kondensationstrockner Fr. 196.-/m³

Aufgrund verschiedener Berechnungen werden folgende Zusammenhänge deutlich:

- Kondensationstrockner sind bei Endfeuchtigkeiten U_e unter 20% unwirtschaftlich.
- Vakuumtrockner sind bei Brettern unter 40 mm Dicke teurer als Verdunstungstrockner, bei dickeren Brettern jedoch billiger.
- In den meisten Fällen lohnt sich eine Freiluftvortrocknung von 5 bis 10 Tagen, je nach Dimension (Einsparungen zwischen Fr. 25.- und 50.-/m³).

7.4 Energiebilanz

Bei der Kondensationstrocknung und bei der Vakuumtrocknung wird thermische Energie nur zum Aufheizen des Trockengutes am Anfang des Prozesses benötigt, danach reicht die Abwärme des Compressors bzw. der Ventilatoren aus, um die Betriebstemperatur zu halten.

Die Verdunstungstrocknung benötigt grössere Mengen an thermischer Energie. Diese könnte zwar teilweise durch Wärmetauscher zurückgewonnen werden, aber dies geschieht aus verschiedenen Gründen oft nicht. Einerseits entsteht durch die Abkühlung der Abluft eine Dampfsäule, welche von der Bevölkerung als Umweltverschmutzung interpretiert wird. Andererseits muss in vielen Kantonen ein Nachweis für die Verwendung der thermischen Energie aus Restholzfeuerungen erbracht werden. Da meist zu viel Restholz anfällt, spart man sich einen teuren Wärmetauscher und darf dafür mehr Restholz verbrennen.

Gerade bei der Verdunstungstrocknung (90 % der Anlagen) kann durch drehzahlgeregelte Ventilatoren und durch Wärmerückgewinnung sehr viel elektrische und thermische Energie eingespart werden. Hier klaffen aber der Stand der Technik und die Praxis weit auseinander. Aus diesem Grund können auch die Herstellerangaben nur bedingt übernommen werden.

Die folgenden Zahlen basieren auf Jahresdurchschnittszahlen von Anwendern und auf Herstellerangaben:

	<i>elektrische Energie</i> <i>[kWh/m³ trockenes Holz]</i>	<i>Thermische Einsatzenergie</i> <i>[kWh/m³ trockenes Holz]</i>
Verdunstungstrocknung	30	300
Kondensationstrocknung	63	20
Vakuumtrocknung	63	91

Aus diesen Zahlen ergeben sich folgender Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen:

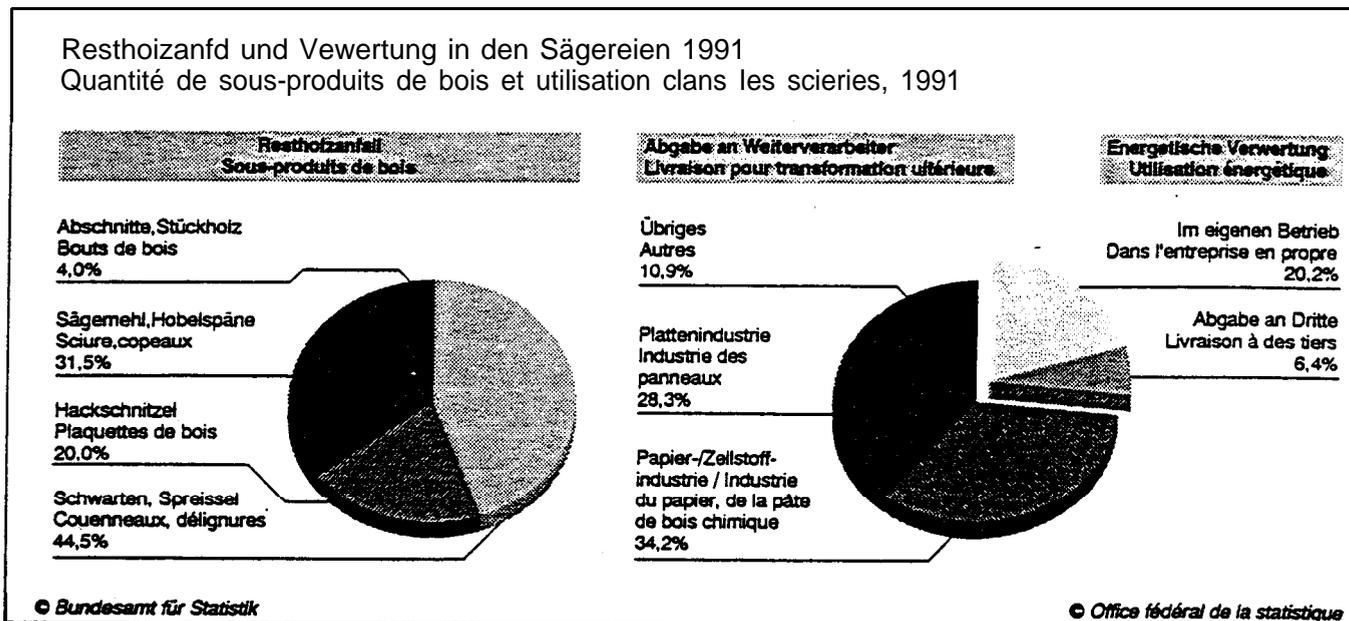
	<i>Primärenergie</i> <i>[kWh/m]</i>	<i>CO₂-Emissionen²</i> <i>[kg/m']</i>
Verdunstungstrocknung	454	0.7
Kondensationstrocknung	135	1.4
Vakuumtrocknung	135	1.4

Über die Emission in die Luft liegt bis jetzt keine Studie vor. Zur Zeit arbeiten jedoch das Institut für Holztechnologie, Dresden, an einer Untersuchung über die Emissionen in die Luft bei der Verdunstungstrocknung von verschiedenen Holzarten.

¹ Umrechnungsfaktoren gemäss Quelle [4]: Elektrizität: schweiz. Kraftwerkmix (Niederspannung); 1.72, Restholzfeuerung: 1.34

² Quelle [4]; Annahme: thermische Nutzenergie wird durch Restholzfeuerung erzeugt; Beim Restholz werden die CO₂-Emissionen gleich 0 gesetzt, da CO₂-Kreislauf innerhalb vergleichsweise kurzer Zeit geschlossen. Eiektrizität CH_{mix}-Niederspannung: 22.8 kg/MWh.

Die folgende Grafik zeigt die Aufteilung des Restholzes in verschiedene Arten und deren Verwertung:



Die Verwertung der Hackschnitzel, der Schwarten und Spreissel sowie des Stückholzes ist kein Problem. Die Papier- und Zellstoffindustrie kann diesen Restholzanfall aufnehmen und zahlt für gute Qualität (ohne Rinde) ungefähr Fr. 23.-/m³. Probleme gibt es bei der Verwertung des Sägemehls, der Hobelspäne und der Rinde.

7.5 Umstellungspotential

Schätzungen zufolge werden in der Schweiz jährlich rund 500'000 m³ Holz technisch getrocknet. Dazu werden ca. 15 GWh elektrische Energie benötigt. Vakuumentrockner sind bei bestimmten Sortimenten bereits heute wirtschaftlicher als Verdunstungstrockner. Zudem besteht noch ein beträchtliches Entwicklungspotential bei dieser jungen Technologie (Patent 1962). Wenn wir nun davon ausgehen, dass bis in zehn Jahren die Hälfte der Menge mit Vakuumentrockner getrocknet wird, bedeutet dies einen elektrischen Energieaufwand von 23 GWh jährlich.

In der Schweiz werden jährlich rund 1.5 Mio. m³ technisch getrocknetes Holz verbraucht. 500'000 m³ aus Eigenproduktion und 1 Mio. m³ aus Importen. Wenn man nun die ganzen 1.5 Mio. m³ in der Schweiz trocknen wollte, davon 50 % mit Vakuumentrocknung, so müssten dafür 69 GWh Elektrizität zur Verfügung gestellt werden.

Dieses Szenarium ist sicherlich etwas gewagt, und es wird schwierig sein, genaue Schätzungen für die Zukunft zu machen. Auf jeden Fall unternimmt die schweizerische Holzindustrie grosse Anstrengungen, um den Import der Halbfabrikate (aus technisch getrocknetem Holz) zu verringern und die Eigenproduktion zu steigern. Zudem rechnen Branchenvertreter mit einem starken Zuwachs im Holzbau.

7.6 Kommunikationskanäle

Die Sägereien müssen für den Rundholzeinkauf viel Zeit aufwenden. Bezüglich Evaluation von Maschinen verlassen sie sich auf Angaben der Hersteller. Unabhängige Studien über Verfahrenseffizienzen und Kosten gibt es nicht. Generell werden selten fundierte betriebswirtschaftliche Studien erarbeitet. Es gibt keine Trocknungsanlagenhersteller in der Schweiz. Die Hersteller sind in Italien, den skandinavischen Ländern, Österreich und Deutschland beheimatet.

Verband der Schweiz. Sägerei- und Holzindustrie

Der Verband hat eine Erfahrungsgruppe "Energie" unter der Leitung des Energie 2000 Ressorts "Gewerbe" ins Leben gerufen. Einmal pro Jahr wird in Biel zusammen mit der Ingenieurschule ein Seminar für Sägereien veranstaltet. An diesem Seminar nehmen rund 90-120 Personen teil.

Vor einigen Jahren hat der Verband ein Merkblatt über die Trocknung herausgegeben.

Forschung

An der Empa, Abteilung Holz, in Dübendorf, werden Forschungsprojekte durchgeführt.

Aus-/ Weiterbildung

Es gibt in der Schweiz 3 Gewerbeschulen, in Zug, Langnau und Lausanne. In Biel befindet sich die Schweiz. Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH). An diesen Schulen werden die Holz Trocknung und energiewirtschaftliche Grundlagen zu wenig tief behandelt.

Empfehlungen

Es besteht ein Bedarf an Weiterbildung in Richtung Betriebs- und Energiewirtschaft. An Seminaren für die Sägereien (Verband) oder in einem höheren Semester an der Ingenieurschule in Biel könnten Vorträge (Vorlesungen) über Energie / Leistung respektive Energie-/Leistungskosten sowie Leistungsbewirtschaftungsmöglichkeiten gehalten werden.

7.7 Anforderungen an die Stromtarife

Die Trocknungssysteme eignen sich gut für eine elektrische Leistungsbewirtschaftung, da die Trocknung unterbrochen werden kann. Die elektronische Steuerung muss allerdings weiterlaufen.

Bei der Wahl des Trocknungsverfahrens ist neben den Prozessanforderungen auch die Verwertung des Restholzes einzubeziehen. Ein Energieversorger hat eventuell die Möglichkeit, die bei der Trocknung nicht verwendeten Restholzanteile in einem nahe gelegenen Nahwärmeverbund zu verwerten.

8. Fallbeispiel "induktives Schmelzen von Metallen"

8.1 Beschreibung des Verfahren

Alle Werkstoffe, die elektrischen Strom leiten, lassen sich induktiv erwärmen. Wird der zu erwärmende Metallkörper dem Einfluss eines elektromagnetischen Wechselfeldes ausgesetzt, so wird in ihm ein elektrischer Strom induziert. Der Stromfluss bewirkt eine Erwärmung des Metalls.

Die Dicke der Oberflächenschicht, in welcher überhaupt ein nennenswerter Stromfluss entsteht, wird durch die Stromeindringtiefe gekennzeichnet. Die Stromeindringtiefe hängt vom Stoff und von der Frequenz ab. Je höher die Frequenz ist, desto kleiner wird die Stromeindringtiefe.

Je nach erforderlicher Eindringtiefe wählt man die Betriebsfrequenz der Induktionsanlage. Die Skala der anwendbaren Frequenzen reicht von der Netzfrequenz bis zum Kurzwellenbereich.

Kernstück jeder Induktionserwärmungsanlage ist die Induktionsspule, bzw. der Induktor. Das ist derjenige Teil der Anlage, der durch elektromagnetische Einwirkung auf das Gut die Erwärmung hervorruft. Die Spule bzw. der Induktor besteht im allgemeinen aus einem Kupferhohlprofil, das von Kühlwasser durchflossen wird. Die Spulen- bzw. Induktorform ist dem zu erwärmenden Gut angepasst.

Man unterscheidet vom Prinzip her zwei Arten von Induktionsschmelzöfen:

- Ž Induktions-Tiegelöfen
- Ž Induktions-Rinnenöfen

Beide unterscheiden sich in Form und Wirkungsweise in wesentlichen Punkten. Während im Rinnenofen nur in der angesetzten Rinne selbst elektrische Energie induziert wird, ist beim Tiegelofen der gesamte Tiegel von der Induktionsspule umschlossen.

Häufig werden heute 2 Öfen parallel betrieben. Während in einem Ofen geschmolzen wird, dient der andere zum Warmhalten. Damit steht ständig geschmolzenes Metall zum Vergießen bereit. Vergiess- und Schmelzbetrieb können so weitgehend unabhängig voneinander arbeiten.

Als Eisenwerkstoffe werden Metallegierungen bezeichnet, bei denen der mittlere Gewichtsanteil an Eisen höher ist als jedes andere Legierungselement. Sie werden in Gruppen der Stähle und Gusseisenwerkstoffe aufgegliedert. Der Kohlenstoffgehalt (C-Gehalt) der Stähle liegt meist unter 1%, der C-Gehalt der Gusseisenwerkstoffe über 2%. Während bei den Stählen der Kohlenstoff im Eisengitter eingebunden ist, tritt er im Gusseisen teilweise als ausgeschiedener Graphit auf. Beim Gusseisen wird zwischen Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss oder GG) und Gusseisen mit Kugelgraphit (Spharoguss oder GGG) unterschieden. Der Spharoguss weist gegenüber dem Grauguss eine bedeutend höhere Festigkeit und Dehnung aus.

In den Eisengiessereien kommen für das Schmelzen von Gusseisen fossil befeuerte Kupolöfen oder Drehtrommelöfen und elektrische Induktionstiegelöfen zum Einsatz.

Gegenüber dem Kupolofen oder Drehtrommelofen weist der Induktionstiegelofen wesentliche Vorteile auf, die stichwortartig gekennzeichnet sind durch [5]:

- Ž Einsatz von günstigen Recyclingstoffen (hoher Schrotanteil möglich)
- Ž schnelle Legierungswechsel und Anpassung an Produktionsschwankungen (hohe Flexibilität)
- computergesteuerte Prozessführung
- Homogenisierung der Schmelze durch Badbewegung, das heisst gute Durchmischung der Charge und gleichmässige Temperaturverteilung innerhalb der Schmelze
- Ž hohe Analysentreffsicherheit auch bei längerer Standzeit des Flüssigeisens
- Ž geringe Schadstoffemissionen (Staub, Schlacke und Abgase) am Aufstellungsort

Für eine Giesserei steht bei den Anforderungen an einen Schmelzofen die Flexibilität an erster Stelle.

8.2 Anwendungen in der Schweiz

In der Schweiz sind 70 Giessereien im Giesserei-Verband organisiert. Nach Werkstoffen aufgeschlüsselt:

Grauguss:	22
Sphäroguss:	15
Stahlguss:	3
Nichteisen(NE)-Leichtmetallguss:	33
NE-Schwermetallguss:	14
Leichtmetall-Druckguss:	15

Die schweizerischen Eisengiessereien produzieren 1994 115'000 t Gusseisen (davon 44'000 t Sphäroguss) [10].

Bei den Graugussgiessereien sind etwa 30 Elektroöfen in Betrieb. Etwa 20 % der Graugussgiessereien schmelzen ausschliesslich mit fossil befeuerten Öfen.

Ausser Gusseisen wurden 1994 von Mitgliedsfirmen des Giesserei-Verbandes folgende Produktionen erzielt:

- NE-Schwermetallguss: 4'000 t
- NE-Leichtmetallguss 5'300 t
- Ž Leichtmetall-Druckguss 9'400 t
- Zink-Druckguss 1'700 t

Ungefähr 4'000 Beschäftigte arbeiten in schweizerischen Giessereien (Quelle [10]).

Im weiteren wurden 1994 in der Schweiz durch die den Aluminiumhalbzeugwerken angegliederten Giessereien etwa 100'000 t Aluminium-Pressbolzen produziert (Einsatzmaterial: intern anfallender Fabrikationsabfall, industrieller Alu-Schrott und Primäraluminium). Davon werden zwischen 30 % und 40 % mit elektrischen Induktionsöfen geschmolzen.

8.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Verfahren hängt unter anderem auch von der Betriebsgrösse ab. Im folgenden Abschnitt wird exemplarisch das Schmelzen von Eisenmetallen in einer schweizerischen Giesserei mittlerer Grösse näher betrachtet:

Ein Kupolofen bedingt um 30-40 % höhere Investitionen als ein Elektroofen. Die baulichen Aufwendungen sind dagegen beim Elektroofen höher. Die Gesamtinvestitionen sind daher für beide Systeme etwa gleich hoch.

Die Personalkosten sind beim Elektroofen geringer.

Die Energiekosten betragen etwa 20 % der gesamten Betriebskosten. Falls die Energiekosten bei beiden Systemen etwa gleich sind, so sind die Betriebskosten inkl. Abschreibungen beim Elektroofen etwa 5-10 % kleiner. Die Energiekosten können beim Elektroofen aber nur durch eine fortschrittliche Leistungsbewirtschaftung und durch flexible Anpassungen der Produktionsweise auf einem wirtschaftlich vertretbaren Niveau gehalten werden.

In einer untersuchten Giesserei konnten die spezifischen Stromkosten dank dem sogenannten Modulationstarif (siehe auch Kapitel 9.3) um 30 % gesenkt werden. Ohne diese Möglichkeit hätte der Betrieb nicht vom Kupolofen auf Elektroofen umstellen können.

8.4 Energiebilanz

Die folgende Tabelle zeigt die notwendige Temperatur und den Energiebedarf für das Schmelzen von Metallen:

	<i>Temperatur</i>	<i>Energiebedarf in kWh/t</i>
Stahl	bis 1'600°C	650-550
Gusseisen	bis 1'500°C	600-520
Kupfer	bis 1'200°C	500-340
Messing (60 % Cu)	bis 1'000°C	320-240
Aluminium	bis 750 °C	650-480

Schmelzen von Eisen:

Es werden koks- und gasbefeuerte Kupolofen eingesetzt. Beim Gaskupolofen ist der Stahlschrottanteil des Einsatzgutes aufgrund der nicht vorhandenen Aufkohlung auf etwa 40% begrenzt.

Beim Schmelzen von Gusseisen im Kupolofen fallen etwa 93 % der spezifischen CO₂-Emissionen vor Ort in der Giesserei an, der Rest wird bei der Erzeugung von Giesse-reikoks freigesetzt. Im Gegensatz hierzu entsteht beim elektrischen Schmelzprozess verfahrensbedingt nur ein vernachlässigbar kleiner CO₂-Ausstoss am Aufstellungsort. Auch die spezifische Staubmenge beim Schmelzen von einer Tonne Gusseisen ist im Induktionsofen etwa um den Faktor 10 kleiner als im Kokskupolofen. Daraus folgt eine aufwendigere Staubfilterung und Entsorgung der schädlichen Abgaskomponenten. Eine weitere Emissionskomponente der Schmelzanlagen ist die anfallende Schlackemenge, die aufgrund ihrer Erwärmung einen Energieverlust zur Folge hat. Zudem entstehen zusätzliche Kosten aus der Deponierung der Schlacke.

In der folgenden Bilanz werden verschiedene Schmelzverfahren miteinander verglichen (Angaben pro t produziertes Gusseisen, Endenergiebedarf gemäss [12]):

Energie bedarf und CO₂ Emissionen beim Schmelzen von einer Tonne Grauguss

	Mittefrequenz 250 Hz	Kupolofen Kaltwind	Kupolofen kokslos
Durchsatz [t/h]	6	10	10
Abbrand [%]	1	3	1
Endenergiebedarf [kWh] für folgende Energieträger/Verfahren (Quelle [12])			
Erdgas	0	20	538
Koks	0	1305	0
Strom	520	20	93
Sauerstoff	0	0	14
Aufkohlung	74	0	74
Ersatz Abbrand	48	143	48
Endenergiebedarf	642	1488	767
Primärenergiebedarf [kWh] für folgende Energieträger/Verfahren			
Erdgas	0	22	603
Koks	0	1553	0
Strom	827	32	148
Sauerstoff	0	0	22
Aufkohlung	81	0	81
Ersatz Abbrand	52	156	52
Primärenergiebedarf	960	1763	906
CO₂-Emissionen [kg] für folgende Energieträger/Verfahren			
Erdgas	0	5	122
Koks	0	617	0
Strom	9	0	2
Sauerstoff	0	0	0
Aufkohlung	20	0	20
Ersatz Abbrand	21	63	21
CO₂-Emissionen	50	685	165
CH₄-Emissionen [kg]	0.018	2	0.6

Primärenergiebedarf 1 Tonne Roheisen: 5.2 MWh (Quelle [12])

Endenergiebedarf 1 Tonne Roheisen: 4.75 MWh (Quelle [12])

CO₂-Emission 1 Tonne Roheisen: 2092 kg (Quelle [12])

Endenergiebedarf Produktion Sauerstoff (Quelle [4]): 0.7 kWh/m³

Primär-/Endenergieumrechnungsfaktor (Quelle [4]):

Strom Mittelspannung Kraftwerksmix Schweiz 1.59

Gas Hochdruck Schweiz 1.12

Koks 1.19

Endenergiebezogener CO₂-Emissionsfaktor [kg/kWh] (Quellen [4]+[12]):

Strom Mittelspannung Schweiz 0.0175

Erdgas frei Schweiz 0.227

Steinkohlenkoks 0.473

Wird den Berechnungen beim Strom der Kraftwerksmix Schweiz zu Grunde gelegt, so liegt der gasbefeuerte Kupolofen beim Primärenergieverbrauch um etwa 5 % tiefer als der Elektroofen. Bei den treibhauswirksamen Gasen CO₂ und Methan (CH₄) liegt der Kupolofen wesentlich höher als der Mittelfrequenz-Induktionsofen.

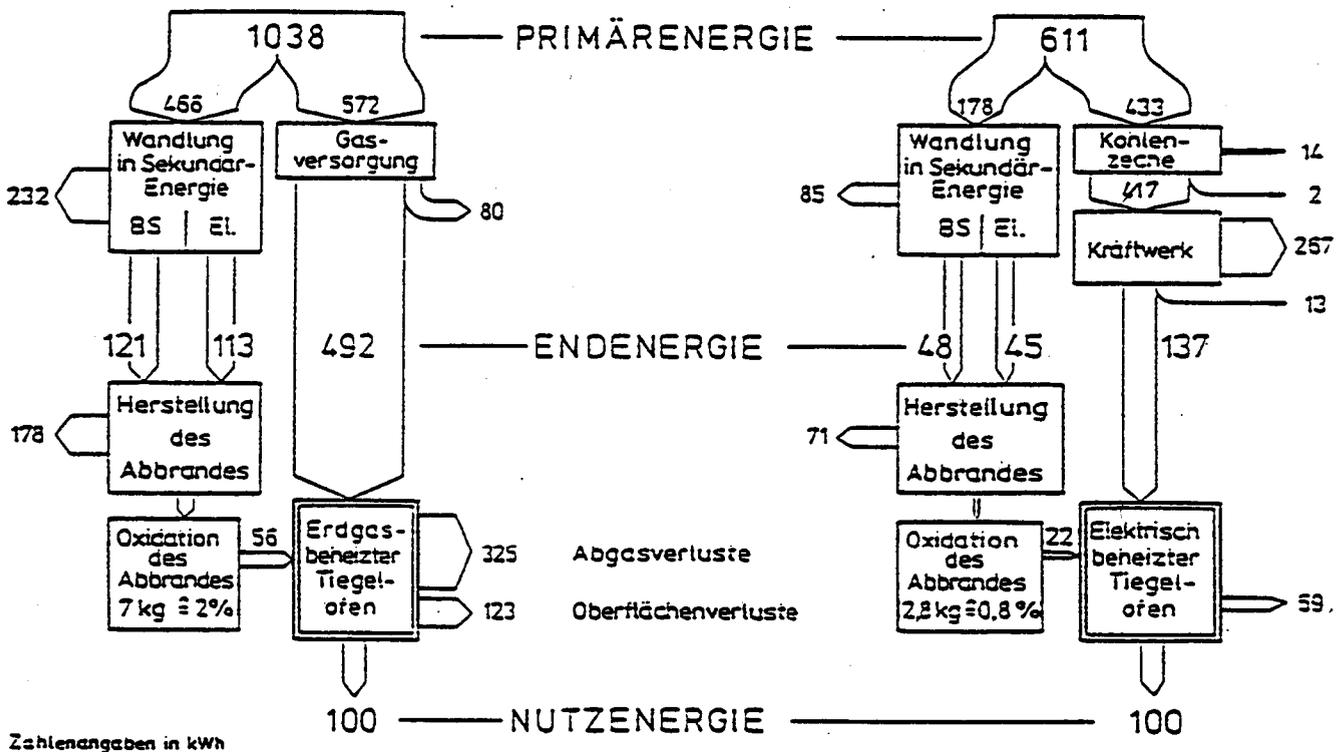
Schmelzen von Aluminium:

Theoretisch ist zum Schmelzen und Überhitzen von einer Tonne Aluminium auf 750 °C eine Wärmemenge von etwa 330 kWh erforderlich. In der Praxis werden zum Schmelzen von einer Tonne Sekundäraluminium ungefähr 600 kWh benötigt, dies entspricht etwa 4% der elektrischen Energie, die allein für den Elektrolysevorgang bei der primären Erzeugung von Hüttenaluminium erforderlich ist.

Das Erwärmen des Einsatzgutes erfolgt bei den fossilbefeuerten Schmelzöfen durch Öl- oder Gasbrenner, deren Flammen zum Teil direkt auf die Oberfläche der Aluminiumschmelze gerichtet sind. Dadurch oxidiert und verdampft ein nicht unerheblicher Teil des Einsatzmaterials und muss in Form von Kratze aus dem Ofen entfernt werden. Dieser als Abbrand bezeichnete Anteil, der im Mittel 2.5 % bis 4 % beträgt, geht für den Materialkreislauf verloren und muss durch energiereiches Primäraluminium ersetzt werden.

Beim Schmelzen von Aluminium sind die Abbrandverluste beim induktiven Schmelzverfahren viel geringer als bei den brennstoffbeheizten Verfahren. Durch diese Reduzierung der Metallverluste sind die spezifischen CO₂-Emissionen und der Primärenergieverbrauch aufgrund der energie- und kostenintensiven Herstellung von Primäraluminium geringer als bei gasbefeuerten Schmelzöfen.

Das folgende Bild zeigt die energetische Prozesskette für das Schmelzen von 350 kg Aluminium in einem erdgas- und elektrisch beheizten Kleintiegelofen mit 150 kg Tiegelinhalt für Standort und Kraftwerkmix Deutschland (Quelle TU München):



8.5 Umstellungspotential

Bei den Giessereien besteht theoretisch ein beträchtliches Umstellungspotential auf elektrisch betriebene Öfen. Dabei spielt der Energiepreis eine sehr wichtige Rolle. Auf elektrisches Schmelzen wird umgestellt, falls sich die Produktionskosten nicht erhöhen und gleichzeitig die Qualität der Produkte gesteigert werden kann.

8.6 Kommunikationskanäle

Im Giesserei-Verband gibt es verschiedene Kommissionen:

- technische Kommission
Arbeitsschwerpunkte: technische Vortragsveranstaltungen, Betriebsbesichtigungen, Seminar für Konstrukteure
- Kommission für Kommunikation
- Kommission für Betriebswirtschaft
- Kommission für Berufsausbildung
- Kommission für Umweltschutz und Arbeitssicherheit

Über diesen Verband bzw. deren Kommissionen, können die Giessereien gut erreicht werden.

8.7 Anforderungen an die Stromtarife

Induktives Schmelzen von Metallen ist wirtschaftlich nur mit optimierten Lastverläufen und angepassten Tarifen möglich. Mit einem Leistungstarif, der nur noch die Leistungsspitze bei Winterhochlastspitzen verrechnet, kann die elektrische Energie zum Schmelzen konkurrenzfähig sein. Während der Modulationszeit, wo die Leistungskosten enorm hoch werden, wird der elektrische Leistungsbezug eingeschränkt. Bei geschickter Wahl der Arbeitszeiten und des Schmelzregimes kann ausserhalb der Modulationszeit eine grosse Materialmenge geschmolzen und während der kritischen Zeit warmgehalten, respektive vergossen werden. Dieser sogenannte Modulationstarif bedingt eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Stromlieferanten und dem Kunden.

Die Giessereien können in der Tendenz leichter auf regelmässige, aber kleinere Einschränkungen eingehen als auf unregelmässige grosse. Regelmässige Einschränkungen können in Schichtplane eingebaut werden, falls sie etwa 2 Wochen im voraus bekannt sind.

Falls die Anlagen ausgelastet sind, können Einschränkungen durch die elektrische Leistungsbewirtschaftung zu Ausweitungen der Produktionszeiten führen. Muss dadurch in der Nacht oder an Wochenenden produziert werden, so sind höhere Personalkosten die Folge. Diese höheren Kosten können die Stromkosteneinsparungen teilweise aufheben.

Auch wegen allfälligen Netzurückwirkungen ist eine Zusammenarbeit wichtig. Schon in der Planungsphase sollen Netzsimulationen zeigen, welche Massnahmen die Gieserei treffen muss. Solche Massnahmen, wie z. B. Wahl besonderer Transformatoren, Anpassungen bei bestehenden Kompensationsanlagen u. s. w., sind beim Bau neuer Anlagen bedeutend billiger zu realisieren als nachher im Betrieb beim Auftauchen von allfälligen Problemen.

Bei grossen Leistungen im Bereich einiger Megawatt kann es nötig sein, dass eine Leistungsbewirtschaftung nicht nur durch lokale Stromversorger, sondern durch regionale oder sogar überregionale Stromversorger (Vorlieferanten) gesteuert wird. Dies bedingt innerhalb der Elektrizitätswirtschaft neue Formen der Zusammenarbeit und ein gemeinsames Auftreten gegenüber dem Kunden.

9. Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die schweizerische Elektrizitätswirtschaft

Der erste Ravel-Bericht " Elektrische Produktionsverfahren" beschreibt die technischen Grundlagen. Dieser zweite Bericht erweitert die technischen Grundlagen mit Marktinformationen. Die Umsetzung des erarbeiteten Wissens muss in den einzelnen Energieversorgungsunternehmen (EVU) durch Ausführung von Beispielen geschehen.

Zusätzliche Anwendungen sollen primär im Schwach- und Mittellastbereich gesucht werden, ohne dabei effiziente Spitzenlastanwendungen zu vernachlässigen (z. B. IR-Trocknung). Neue Anwendungen mit elektrischen Produktionsverfahren tragen meist zu Primärenergieeinsparungen und zur Entlastung der Umwelt bei und bringen dem EVU zusätzliche Deckungsbeiträge.

9.1 Zusammenarbeit Stromlieferant - Produktionsbetrieb

Eine regelmässige, gegenseitige Überprüfung der Verhältnisse ist in den folgenden Bereichen wünschenswert:

- Ž Qualität und Sicherheit der Stromversorgung
- Ž Netzurückwirkungen
- Ž Spitzenlastmanagement / Leistungsbewirtschaftungsmöglichkeiten
- Ž Tarife

Dabei ist es wichtig, dass der Stromversorger Kenntnisse des Marktes, der Kunden sowie seiner Produktionsprozesse besitzt. Nur so können die Probleme integral gelöst werden. Neben den reinen Energiekosten spielen verschiedene weitere Faktoren eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der Energieträger:

- erzielbare Produktequalität
- Ž Fertigungsablauf Automatisierung, Flexibilität, just in time
- Ž Umweltauswirkungen und Kosten: Emissionen, Abfälle

Im Industriebereich hat beinahe jeder Kunde spezielle Randbedingungen und Bedürfnisse. Dies bedeutet, dass keine allgemeingültigen Informationen gestreut werden können (z.B. Broschüren), sondern jeder Kunde individuell betreut werden muss. Betreuung heisst hier, den Kunden in seinem Geschäft zu begleiten. Für diese Aufgabe braucht es Mitarbeiter, welche aus früherer Industrietätigkeit Erfahrungen mitbringen und gewohnt sind, Kundenbeziehungen aufzubauen und zu pflegen.

Es empfiehlt sich, für jeden Kunden ein Datenblatt mit den wichtigsten wirtschaftlichen Eckdaten und Bedürfnissen zu führen. Der Kunde muss aber wissen und spüren, dass die Daten vertraulich behandelt werden.

Zunehmend werden in der Industrie Hilfsmittel zur Beurteilung der Umweltauswirkungen eingesetzt. Die eingesetzten Energieträger spielen in den Ökoaudits eine wichtige Rolle. Dabei interessieren auch dem Betrieb vorgelagerte Prozesse. Für den Stromeinsatz sind allenfalls lokale, dem wirklichen Erzeugungsmix entsprechende Emissionsda-

ten wichtig. Damit nicht ausschliesslich grobe europäische Durchschnittsdaten verwendet werden müssen, sollte der Stromversorger seine individuellen Emissionsdaten dem Kunden mitteilen.

9.2 Aus- und Weiterbildung

Die elektrischen Produktionsverfahren' sollten im Berufsbildungsbereich stärker berücksichtigt werden. So könnten zum Beispiel die Autolackierberufsschulen für die Erstausbildung und Weiterbildung (Meister) mit Informationen über das IR-Trocknungsverfahren versorgt werden. Insbesondere besteht ein Bedarf nach Daten über die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren. Die Betreuung dieser Berufsschulen könnte durch die Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung (INFEL) erfolgen.

Für die Ausbildung und die Informationsweitergabe braucht es dokumentierte Referenzanlagen. Solche realisierte, erfolgreiche Beispiele stärken das Vertrauen in neue Konzepte und Anwendungen. Sie sind viel leichter mitzuteilen als reine Theorien und Studien.

9.3 Anforderungen an die Stromtarife

Elektrothermische Produktionsverfahren zeichnen sich unter anderem durch hohe Leistungsdichten und damit verbundene kurze und flexible Bearbeitungszeiten aus. Dies bewirkt aber auch dass die Leistungskosten im Extremfall mehr als die Hälfte der Stromkosten ausmachen können. Um die Stromkosten zu senken, bietet sich eine Leistungsbewirtschaftung an. Kann diese mit dem Stromversorger koordiniert und der Leistungsbezug in Zeitbereichen kritischer Belastungsverhältnisse des Stromversorgers reduziert werden, können die Kosten beim Betrieb und beim Versorger gesenkt werden.

Eine optimale Leistungsbewirtschaftung kann z. B. mit einem sogenannten Modulationstarif gefördert werden, der folgendermassen aussehen kann:

Gemessen und verrechnet wird der Leistungsbezug in Zeitbereichen kritischer Belastungsverhältnisse des Stromversorgers. Der Leistungspreis ist dabei höher (z. B. 20-30 %) als beim normalen Tarif. Ausserhalb dieser Zeitbereiche ist der Leistungsbezug in gegebenen Grenzen frei.

Das Steuersignal für die Aktivierung der Leistungsmessung soll dem Kunden für die Auslösung interner Informations-, Steuer- und Sperrmechanismen zur Verfügung stehen. Über die Vorinformationszeit sollten individuelle Regelungen getroffen werden.

9.4 Aufbau Markt- und Prozess Know-how

Eine individuelle Kundenbetreuung bedeutet, dass die einzelnen Kundenanforderungen herauszuarbeiten sind und Lösungen dafür angeboten werden können. Die EVU'S

benötigen für diesen Aufbau von guten Kundenbeziehungen Kenntnisse über die Bedürfnisse der Kunden. Weiter braucht es Kenntnisse über den Markt des Kunden.

Die Informationen über den Markt und die Prozesse können von verschiedenen Quellen stammen:

- Betriebe
 - Anlagenhersteller (v.a. techn. Wissen)
 - Ž technische Kommissionen der Verbände
 - Ž Branchenspezialisten (auf die jeweilige Branche spezialisierte Consultingfirmen)
 - Ž Ausbildungszentren: Gewerbeschulen, Meisterschulen, Fachhochschulen

Jedes EVU sollte ein gewisses Mass an Markt- und Prozessknow-how selber aufbauen. Für Spezialprobleme muss aber auf einen Branchenspezialisten zugegriffen werden können, welcher Detailprobleme lösen kann. Diese Spezialisten können innerhalb der Elektrizitätswirtschaft aufgebaut werden. Eine neu aufzubauende Erfahrungsgruppe, welche aus Vertretern verschiedener Elektrizitätswerke bestehen würde, wäre für den Informationsaustausch zuständig. Jedes beteiligte Unternehmen spezialisiert sich dabei z. B. für zwei Branchen (vorzugsweise jene, die schwergewichtsmässig im Versorgungsgebiet liegen).

Neben den eigenen Ressourcen sind als Informationsquellen und Berater auch Experten im Ausland wichtig.

Um die Begleit- und Vermittlerrolle beim Kunden wahrnehmen zu können, muss ein EVU eine Marktübersicht über die Anbieter von Geräten und Systemen für elektrische Produktionsverfahren besitzen. Diese Marktübersicht fehlt zur Zeit in der Schweiz. In England, Frankreich und Belgien sind entsprechende Lieferantenverzeichnisse erarbeitet worden. Ein solches Verzeichnis mit Anbietern aus der Schweiz und dem Ausland wäre für die Industriekundenbetreuung sehr hilfreich.

10. Quellenverzeichnis

- [1] Bundesamt für Konjunkturfragen, Ravel:
Elektrische Produktionsverfahren, Bern, 1993
- [2] R. Rittmann: Einsatz der Infrarot-Strahlung zur Lacktrocknung in der Industrie und im Gewerbe, Untersuchungsergebnisse und Publikationen der RWE Energie AG, Essen, 1995
- [3] Schaefer, H.; Entwicklung und Struktur des Energiebedarfs für wärmetechnische Prozesse, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, 1984
- [4] Frischknecht R., Hofstetter P., Knöpfel I. et al.: Ökoinventare für Energiesysteme. Schlussbericht BEW/NEFF-Forschungsprojekt "Umweltbelastung der End- und Nutzenergiebereitstellung", 1. Auflage, 1994
- [5] E. Baake, A. Mühlbauer
Umweltverträglichkeit von elektrischen Schmelzverfahren in Elektrowärme International 53(1995) B2
- [6] P. Sturzenegger:
Anforderungen an eine marktgerechte Sortimentsgestaltung für Sägereiprodukte, Schweiz. Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH), Biel, 1993
- [7] H. Koster, U. Germerott, N Sigrist:
Weiterverarbeitung von Sägereiprodukten, Schweiz. Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH), Biel, 1995
- [8] Bundesamt für Statistik: Holzverarbeitung in der Schweiz 1991, Bern, 1994
- [9] Schweizerischer Sägerei- und Holzindustrieverband: Jahresbericht 1993, Jahresbericht 1994, Bern
- [10] Giessereiverband der Schweiz: Geschäftsbericht 1994, Zürich
- [11] P. Sturzenegger, Lignotec: Betriebswirtschaftlicher und energetischer Vergleich von drei Holz Trocknungsverfahren, Biel, 1995
- [12] A. Mühlbauer, E. Baake und U. Jorn: Energiebedarf und CO₂- Emissionen industrieller Prozesswärmeverfahren, Essen, 1995
- [13] Union international d'électrothermie: électricity in the Food and Drinks Industry, Paris la Défense, 1996

Anhang

Mögliche Anwendungen in verschiedenen Branchen

1. Nahrungsmittel
2. Holzbearbeitung
3. Chemische Erzeugnisse
4. Kunststoffwaren
5. Ziegelherstellung
6. Metallverarbeitung

Mögliche Anwendungen von Elektrotechnologien in der Nahrungsmittelherstellung		Luftbürste	Pulvertrocknung	El. Dampf- oder Heisswasser	Elektrostrahl	Induktion	Filtration&Membranen	Gefriertrocknung	Wärmepumpe Entfeuchtung&WRG	WRG/Wärmetauscher	Hochdruckkochen	Tauchsieder	Induktionsmischer	IR	Brüdenverdichtung	Widerstandsheizung	HF/MW	Kaltmaschine	Roboter	UV	Vakuumpumpe	Drehzahlregulierte Antriebe	Venturi Belüftung
Vorbereitung	Waschen																						
	Blanchieren																						
	Trocknen																						
	Mischen																						
Aufbereitung	Kochen																						
	Backen																						
	Sieden																						
	Gefrieren																						
	Auftauen/Temperieren																						
	Hygiene																						
	Abwasserbehandlung																						
Konservierung	Pasteurisieren																						
	Sterilisieren																						
	Gefrieren																						
	Kühlen																						
	Trocknen																						
Verpackung	Flaschen																						
	Büchsen																						
	Papier/Karton																						
	Folien																						
Lagerung und Verteilung	Umgebungstemp.																						
	gefroren																						
	gekühlt																						
	Lagerhaus																						
	Transport																						
	Laden																						
Konsument																							

Technologien für Produkte und Prozessschritte in der ersten Holzverarbeitungsstufe

		TRENNEN	Behandlung	TROCKNEN	Bearbeitung	OBERFLÄCHE	VERBINDUNG	SCHUTZ	ENDFERTIGUNG	SORTIERUNG	FÖRDERN	TRANSPORT	
		Sägen Spalten Laserschneiden Wasserstrahlschneiden Schaalen	direktes Dämpfen indirektes Dämpfen Kochen Entrinden Zerfasern Entwässern Mischen	Frischlüftung Niedrigtemp. Trocknung Normaltemp. Trocknung Hocht. Trocknung Hochfrequenz Trocknung Vakuum kontinuierlich Vakuum diskontinuierlich Späne, Fasern, Fourniere	Hobeln Schleifen kalibrieren hobeln kalibrieren schleifen Borsten Fräsen Falzen Kehlen	Grundierung Lackierung mit LM Lackierung mit Wasserlack Beschichtung Furnieren, Belegen Anstrich, Farben Trocknen	Leimen Pressen (HF) (MW) Ultraschallschweißen Nagelung Verschraubung	Spritzen Tauchimprägnierung Druckimprägnierung Konditionieren Imprägnieren Temperung Befeuchten Besäumen Sortieren optische Qualitätssortierung Verpacken	optoelektronisch visuell ultraschall mechanisch pneumatisch pneumatisch mechanisch pumpen pneumatisch Späne, Staub	Schiene Strasse Wasser Luft			
Produkt:	Prozess:												
Konstruktionen: Konstruktions- und Schnittholz	Entrinden												
	Ablängen	E											
	Einschneiden	E											
	Trocknen												
	Abbinden	E											
	Imprägnieren												
	Brettschichtholz	Lamellenherst											
		Trocknen											
		Sortieren											
		Kappen	E										
		Keilzinken											
		Beleimen Keilz											
Pressen Keilz													
Hobeln Lamellen													
Beleimen Lamellen													
Paketieren		HAND											
Holzwerkstoffe: Spanplatten	Pressen												
	Imprägnieren												
	Verpacken												
	Zerspanung	E											
	Trocknung												
	Sichtung												
	Beleimung												
	Endfertigung	E											
Faserplatte weich (Nassverfahren)	Schnitzelsortierung												
	Faserstoffherst		F										
	Beleimen												
	Viessbildung												
	Endfertigung	E											
Faserplatte hart (Nassverfahren)	Zerspanung												
	Zerfaserung												
	Bütten												
	Leimdosierung												
	Vliesbildung												
	Pressen												
	Endfertigung	E											

		TRENNEN	Behandlung	TROCKNEN	Bearbeitung	OBERFLÄCHE	VERBINDUNG	SCHUTZ	ENDFERTIGUNG	SORTIERUNG	FÖRDERN	TRANSPORT
		Sägen Spalten Laserschneiden Wasserstrahlschneiden Schalen	direktes Dampfen indirektes Dampfen Kochen Entbinden Zerfasern Entwassem Mischen	Frischlufftrocknung Niedrigtemp. Trocknung Normaltemp. Trocknung Hochtemp. Trocknung Hochfrequenz-trocknung Vakuum kontinuierlich Vakuum diskontinuierlich Späne, Fasern, Fourniere	Hobeln Schleifen kalibrieren hobeln kalibrieren schleifen Bohren Frasen Falzen Kehlen	Grundierung Lackierung mit LM Lackierung mit Wasserlack Beschichtung Furnieren, Belegen Anstrich, Farben Trocknen	Leimen Pressen (HF) (MW) Ultraschallschweißen Nagelung Verschraubung	Spritzen Tauchimprägnierung Druckimprägnierung Konditionieren	Imprägnieren Temperung Befeuchten Besäumen Sortieren optische Qualitätssortierung Verpacken	optoelektronisch visuell ultraschall mechanisch pneumatisch	pneumatisch mechanisch pumpen pneumatisch Späne, Staub	Schiene Strasse Wasser Luft
E: elektrisch F: fossil D: Diesel	Produkt: Faserplatte MDF (Trockenverfahren)											
	Prozess: Zerfaserung Trocknen Leimdosierung Vliesbildung Vorpressen Pressen Endfertigung Sortieren											
	(Messerfurnier)											
	Ablängen Zurichten Plastifizieren Entbinden Messern Trocknen Bündeln Sortieren Endfertigung											
	Lagenhölzer: Furniersperrholzplatten & Furnierschichtholz											
	Furnierherst Leimauftrag Stapeln Pressen Endfertigung											
	Stäbchenplatte											
	Bretterherst Trocknen Verleimen Hobeln Beleimen Pressen kalt (HF) Einschneiden Trocknen Verleimen mit Furnier Pressen kalt (HF) Endfertigung											

Anhang 3: Chemische Erzeugnisse

Mögliche elektrische Produktionsanwendungen in der chemischen Industrie															
	Widerstandswärmung	Induktion	IR/UV	Mikrowellen/Hochfr.	Ultraschall	Laser	Plasma	Filtration/Membranen	Gefriertrocknung	Kältemasch.	Wärmepumpe/WRG	Brüdenverdichtung	Druckluft	Vakuumpumpe	Elektrolyse
Reaktion															
Reinigung															
Destillation															
Filtration															
Extraktion															
Kristallisation															
Mahlen															
Trocknen															
Formulierung															
Oberflächenbehandlung															
Sterilisierung															
Verpackung															
Wasseraufbereitung															
Abwasserbehandlung															
Abluftbehandlung															
Forschung/Labor															
Transport															

Anhang 4: Kunststoffwaren

Mögliche Anwendungen von Elektrotechnologien in der Kunststoffindustrie		Widerstandserwärmung				Kältemaschine	Infrarot	Roboter
Grundstoff	Aufbereiten							
	Polimerisieren							
	Granulieren							
	Halbzeug- oder Produkteherstellung							
	Spritzgießen							
	Schleudergießen							
	Druckguss							
Verpackung								

Mögliche Anwendungen von Elektrotechnologien in der Ziegeleiindustrie					
	Widerstandsheizung	Mikrowellen	Infrarot		
Abbauen					
Dosieren					
Mischen					
Zerkleinern					
Befeuchten					
Pressen					
Formgebung					
Trocknen					
Engobieren					
Brennen					
Verpacken					
Spedieren					

Mögliche Anwendungen von Elektrotechnologien in der Metallindustrie

Prozess- schritte		Temperatur bereiche			Widerstandserwärmung	Induktionserwärmung	Lichtbogenerwärmung	Elektronenstrahlerwärmung	Infrarot	Laser	Elektrolyse
		Al-Leg.	Buntmet.	Eisen/Stahl							
Schmelzen / Legieren		730 °C	1000-1200 °C	1600 °C	■	■	■				
Giessen	Strangguss										
	Druckguss										
	Sandguss										
	Kokillenguss										
Homogenisation		+ 600 °C			■						
Pressen	Vorwärmung	350-400 °C			■	■					
	Pressen										
Walzen	Vorwärmung			1200 °C		■					
	Walzen										
Vergüten		+ 250 °C		600 °C	■	■					
Spanabhebende Bearbeitung											
Spanlose Bearbeitung							■		■		
Verbinden							■				
Oberflächenveredelung	Oxydation										■
	Lackierung							■			

Bei Sandguss

Sandformen

Pressen

Trocknen bei 200 °C

Entformen

Sandaufbereitung (Zerkleinern, Filtern, Mischen, Schleudern)