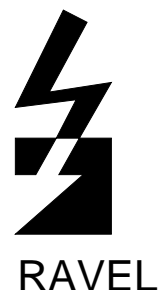


Materialien zu RAVEL

Energiespar- möglichkeiten in Sägereien

Rolf Gloor



Adressen

Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfagen (BfK)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031 / 322 21 39
Fax: 031 / 322 41 02

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

Ressortleiter: Jürg Nipkow
ARENA
Schaffhauserstrasse 34
8006 Zürich
Tel.: 01 / 362 91 83
Fax: 01 / 363 38 50

Autor: Rolf Gloor
GLOOR ENGINEERING
7434 Sufers
Tel.: 081 / 630 90 10
Fax: 081 / 630 90 11
E-Mail: gloor@spin.ch
<http://www.energie.ch>

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

Copyright Bundesamt für Konjunkturfagen
3003 Bern, Juli 1996

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidgenössischen Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.21.08 D)

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung.....	5
2 Einleitung.....	6
3 Energieverbrauch in Sägereien.....	7
3.1 Bearbeitungsprozesse in einem Sägewerk.....	7
3.2 Ausgangslage.....	7
3.3 Grobanalyse der Sägereien.....	8
3.3.1 Vorgehen bei der Grobanalyse.....	8
3.3.2 Resultate der Grobanalyse.....	9
3.3.3 Stromverbrauch in einer Sägerei.....	11
4 Energiesparmöglichkeiten.....	12
4.1 Rundholzbereich.....	12
4.1.1 Sortierwagen.....	12
4.1.2 Entrindung.....	12
4.1.3 Rundholzförderanlage.....	12
4.2 Einschnitt.....	13
4.2.1 Gattersäge.....	13
4.2.2 Blockbandsäge.....	13
4.2.3 Kreissäge.....	14
4.2.4 Spaner.....	14
4.2.5 Besäumer.....	15
4.3 Entsorgung.....	15
4.3.1 Kratzförderer und Förderbänder.....	15
4.3.2 Vibrorinnen.....	15
4.3.3 Hacker und Siebe.....	16
4.3.4 Absauganlagen.....	16
4.4 Holztrocknung.....	17
4.4.1 Trockenkammern.....	17
4.4.2 Heizung.....	17
4.5 Nachbearbeitung.....	17
4.5.1 Hobeln.....	17
4.5.2 Kappen, Keilzinken.....	18
4.6 Diverse Energieverbraucher.....	18
4.6.1 Elektroheizungen.....	18
4.6.2 Druckluft.....	18
4.6.3 Stapler und Pneu-lader.....	19
4.6.4 Licht.....	19
4.6.5 Bürogeräte.....	19
5 Energie und Kosten.....	20
5.1 Leistungstarif.....	20
5.2 Blindarbeit.....	20
5.3 Kleinwasserkraftwerke.....	21
5.4 Holzverstromung.....	21
5.5 Blockheizkraftwerke.....	21
5.6 Energiepartnerschaften.....	21

6 Technologien	22
6.1 Holz Trocknung.....	22
6.1.1 Erfassung des Energieverbrauchs.....	22
6.1.2 Systeme für die technische Holz Trocknung.....	22
6.1.3 Vergleich von Trocknungskammern.....	23
6.1.4 Die natürliche Holz Trocknung.....	24
6.1.5 Die Trockenkammer.....	25
6.1.6 Energiesparmöglichkeiten.....	26
6.2 Absauganlage.....	28
6.2.1 Fördergeschwindigkeit.....	28
6.2.2 Optimierung der Absaugmenge.....	28
6.2.3 Neue Absauganlage.....	29
6.3 Antriebstechnik.....	30
6.3.1 Druckluft.....	30
6.3.2 Asynchronmotor.....	31
6.3.3 Frequenzumrichter.....	32
6.3.4 Anlaufverhalten.....	33
6.3.5 Schaltspiele.....	33
6.3.6 Sparschaltungen.....	33
6.3.7 Getriebe.....	33
7 Anhang	34
7.1 Verbrauchszielwerte.....	34
7.2 Energie-ERFA.....	34
7.3 Lieferanten von Kompensationsanlagen und Messgeräten.....	35
7.3.1 Blindstrom-Kompensationsanlagen.....	35
7.3.2 Spitzenleistungsoptimierung.....	35
7.3.3 Wärmezähler.....	36
7.4 Literaturhinweise.....	36

1 Zusammenfassung

Im Auftrag des Schweizerischen Sägerei- und Holzindustrieverbandes (SHIV), des Impulsprogramms RAVEL (Ressort Kraft) und des Aktionsprogramms Energie 2000 (Ressort Gewerbe) versucht der Verfasser, die Energiesparmöglichkeiten in Sägewerken aufzuzeigen. Für diesen Zweck bildete man die Erfahrungsgruppe "Energie-ERFA" des SHIV. Die beteiligten 15 Betriebe wurden energetisch analysiert, die Ergebnisse und die Energiesparmassnahmen wurden in der ERFA-Gruppe besprochen.

In einer durchschnittlichen Sägerei lassen sich *etwa 30% Strom* einsparen, 10% alleine durch organisatorische Massnahmen. Eine hohe Wirtschaftlichkeit ist gegeben, wenn die Erhöhung der Energie-Effizienz mit Revisionsarbeiten und Modernisierungen kombiniert wird. Effizienzsteigerungen im Wärmebereich sind erst interessant, wenn Energieholz nicht mehr durch die tiefen Preise der fossilen Energieträger zu einem Abfallprodukt degradiert wird.

Die Energiesparmöglichkeiten in Sägereien lassen sich in folgende vier Gruppen aufteilen:

- 1. Leerlauf vermeiden:** Eine durchschnittliche Maschine verbraucht während zehn Sekunden Leerlauf mehr Energie als beim Aufstarten. Schon bei einem kurzen Betriebsunterbruch des Sortierwagens, der Kappsäge oder der Hobelmaschine lohnt sich also das Abschalten.
- 2. Volle Auslastung:** Maschinen mit voller Produktionsgeschwindigkeit fahren und nach der Bearbeitung abschalten, "nicht bummeln". Bei den meisten Prozessen (Entrinden, Sägen, Besäumen ...) wird für die Nebenbetriebe (Hydraulik, Absaugung, Hacker ...) mehr Leistung benötigt als für den eigentlichen Prozess.
- 3. Optimierung:** Nur soviel Leistung liefern, wie nötig ist. Beispiele: eine Druckluftanlage nur mit 6 bar Druck betreiben, die Ventilator-drehzahl bei der Holz-trocknung reduzieren, die Luftgeschwindigkeit in der Absaugleitung auf 18 m/s regeln.
- 4. Energie-Effizienz:** Bei Sanierungen und Neuinvestitionen den Energieverbrauch berücksichtigen. Vom Lieferanten garantierte Werte für den Energieverbrauch fordern und diese bei der Abnahme überprüfen. Folgende Grössen sollten möglichst gering sein: Spezifischer Energieverbrauch (kWh pro Produktionseinheit), Leerlaufleistung (kW), Abluftmenge (m³/h), Druckluft (bar und m³/h). Zur Energieeffizienz gehört auch eine automatische Abschaltung, wenn die Anlage nichts zu tun hat.

Eine Anlage soll nur Energie bekommen, wenn sie Holz bearbeitet.

Einleitung

Diese Dokumentation ist ein Beitrag zur rationellen Verwendung von Elektrizität in Sägewerken. Sie ist für Säger und Energiefachleute verfasst worden und beinhaltet daher für beide Seiten bekannte und unbekanntere Erläuterungen.

Eine Sägerei ist ein kapitalintensiver Betrieb, welcher aus vorab einheimischem Rundholz Schnittholzprodukte für die Bauwirtschaft, die Möbel- und Verpackungsindustrie herstellt. Das Schnittholz steht unter starker internationaler Konkurrenz. Die spezifischen Produktionsbedingungen sind zu beachten: Es ist zum Beispiel für einige Produkte vorteilhafter, mit der Bandsäge Bretter einzeln aus einem Stamm zu schneiden, als mit der energieeffizienteren Gattersäge die Stämme gleichzeitig mehrfach aufzuteilen. Trotzdem sollen die einzelnen Verarbeitungsprozesse hinterfragt werden. Vor allem diejenigen, welche im Hintergrund viel Energie benötigen (Absaugung, Druckluft, Entsorgung). Weder etablierte Technologien noch ganz neue Anlagen bieten Gewähr für Energie-Effizienz.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich allen Personen und Organisationen danken, welche zu dieser Dokumentation beigetragen haben. Im besonderen den engagierten Mitgliedern der *Energie-ERFA des SHIV*, welche im *Anhang* vorgestellt werden.

Der Autor steht Interessierten für Fragen und weitere Ausführungen zur Verfügung und nimmt gerne Anregungen entgegen. Aktualisierte Inhalte dieser Dokumentation sind auf dem Internet unter <http://www.energie.ch> zu finden.

3-Energieverbrauch in Sägereien

3.1 Bearbeitungsprozesse in einem Sägewerk

In einer Sägerei werden aus runden Stämmen Balken und Bretter herausgeschnitten. Im Durchschnitt ist die Ausbeute für das Haupt- und Nebenprodukt etwa 60% bis 65% der verarbeiteten Rundholzmenge. Für einen Arbeitsprozesse gibt es unterschiedliche Bearbeitungsmethoden und Anlagenausführungen. Die Auswahl hängt von der Verarbeitungsgeschwindigkeit, den Produkten, dem vorhandenen Maschinenpark (Materialfluss, Mechanisierung), den Raumverhältnissen und der Entscheidung des Sägers ab.

Prozess	Bearbeitungsmethode			
Sortierung Rundholz	Sortierwagen	Kran	Stapler	Bagger
Entrindung	Fräskopf-entrinder	Lochrotor	in der Rinde schneiden	entrindet angeliefert
Kappen (quertrennen)	Kettensäge	Kreissäge	nicht kappen	
Vorschneiden (sägen)	Gattersäge	Bandsäge	Kreissäge	Spaner *
Nachschneiden	Hauptmaschine	zweite Maschine	kein Nachschnitt	
Kappen (quertrennen)	Kreissäge	Doppelkappsäge	nicht kappen	
Besäumen (längstrennen)	Kreissäge	unbesäumt		
Trocknen	Trockenkammer	Halle	Freiluft	nicht trocknen
Nachgelagerte Prozesse	Weiterverarbeitung	liefern	lagern	

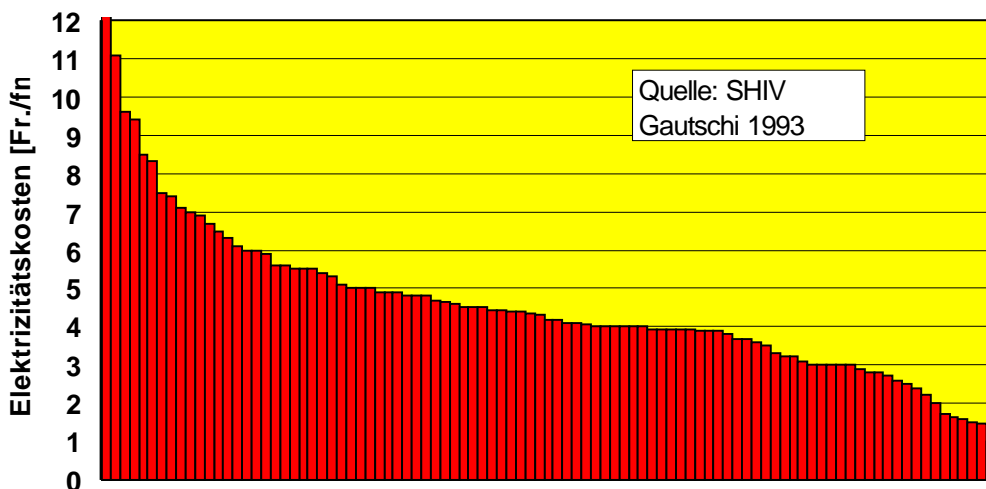
* Zusätzliche Kreissäge mit Fräskopf für die direkte Zerhackung der Randpartie in Hackschnitzel.

Nebenprozesse	Transport	Hacker	Druckluft	Heizung
---------------	-----------	--------	-----------	---------

Energetisch relevante Bearbeitungsprozesse in einem Sägewerk

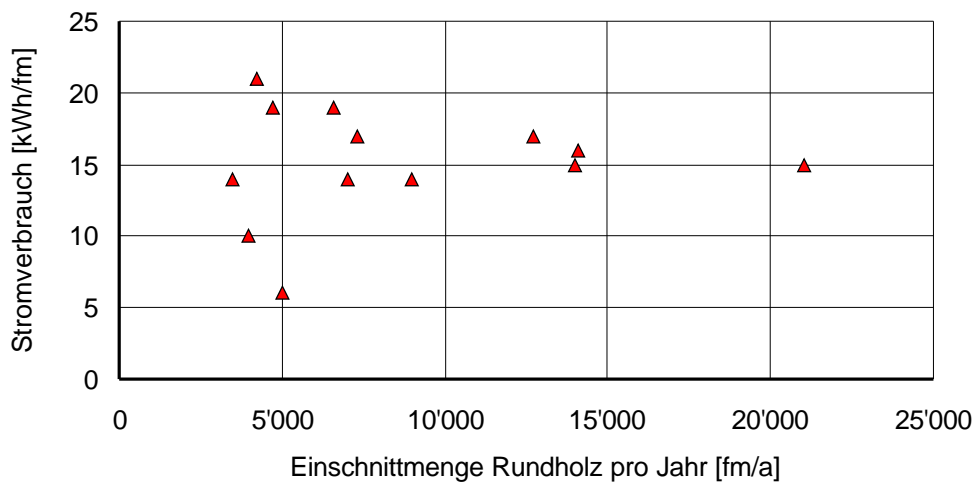
3.2 Ausgangslage

Die Sägereien der Schweiz benötigen für die Verarbeitung von 2 Millionen Festmeter Rundholz (1 fm = 1 m³ Rundholz) etwa 60 Millionen kWh Strom pro Jahr. Dafür bezahlen sie 12 Millionen Franken an die Elektrizitätswerke (Durchschnittspreis 0.20 Fr./kWh). Die spezifischen Stromkosten pro Festmeter sind recht unterschiedlich:



Verteilung der spezifischen Stromkosten in 95 schweizerischen Sägereien.

In den untersuchten Betrieben liegt im Bereich Sägerei der spezifische Stromverbrauch bei 6 bis 21 kWh/fm. Er variiert um den Faktor 4 und grössere Sägereien sind im Mittelfeld. Angesichts dieser Unterschiede sind erhebliche Stromsparmöglichkeiten zu erwarten.



Vergleich des spezifischen Stromverbrauchs "Sägerei" von 13 Sägewerken.

3.3 Grobanalyse der Sägereien

Vorgehen bei der Grobanalyse

Der Wärmeverbrauch ist im allgemeinen für eine Sägerei kein Thema, weil kein Mangel herrscht. Alle untersuchten Betriebe bezogen ihre Wärme aus den eigenen Holzabfällen, jeder Zweite versorgt mit der Holzheizung zusätzlich betriebsfremde Objekte mit Wärme. In einer üblichen Sägerei ist die Werkhalle nicht beheizt, hingegen die Werkstatt und das Büro. Am meisten Wärme benötigt die technische Holzbockung.

Von Interesse, und darum auch Thema der folgenden Ausführungen, ist die Elektrizität. Bei der Grobanalyse versuchte man Ende 1995 mit Messungen den Stromverbrauch der einzelnen Maschinen zu bestimmen. Dazu wurden mit einem Leistungsmessgerät die Abgänge im Verteilschrank gemessen. Als Messgerät diente ein EMU 3.x7 mit drei Stromzangen vom Typ LEM 125/250/500A. Bei der Messung nahm man die Leistung der Anlagen im Leerlauf und im Betrieb auf. Bei unterschiedlichen Lastzuständen wurde die Energieaufnahme über einen Zyklus gemessen und dann durch die Zykluszeit geteilt. Die mittlere Leistungsaufnahme unter Last war bei allen Bearbeitungsanlagen tiefer (oft weniger als die Hälfte) als die Nennleistung der Motoren. Bei einigen Installationen konnte nicht festgestellt werden, welche Leitungen zu welcher Maschine gehören. Bei den grösseren Maschinen sind oft für den Hauptantrieb und die zugehörige Mechanisierung mehrere Abgänge vorhanden.



Anhand von Beobachtungen und Befragungen im Betrieb wurde abgeschätzt, wie gross der Lastanteil ist. Bei den meisten Anlagen konnte festgestellt werden, dass sie oft auch im Leerlauf liefen (Unterbrüche im Betriebsablauf). Mit Hilfe der jährlichen Betriebsstunden errechnete man den jährlichen Energieverbrauch der einzelnen Maschinengruppen. Die einzelnen Werte

wurden dann soweit angepasst, bis der errechnete Stromverbrauch dem wirklichen Jahresverbrauch entsprach.

Die Leistungen aller Maschinen wurde zusammengezählt. Die Summe musste grösser als die wirkliche Spitzenlast sein. Aus dem Verhältnis Summe der Maschinenleistungen zur Spitzenlast kann abgeschätzt werden, welche Maschinen gleichzeitig laufen und welches Sparpotential für ein Spitzenlastmanagement vorhanden ist.

Ein Vergleich der verschiedenen Maschinen anhand der Leistungsaufnahme unter Last ist schwierig, weil dazu der Werkzeugzustand, die Holzart, die Holzqualität und die Betriebswerte festgelegt werden müssten. Die interessante Grösse ist aus diesem Grund die Leerlaufleistung. Mit ihr lässt sich die energetische Qualität der verschiedenen Anlagen vergleichen.

Resultate der Grobanalyse

Die Resultate der Stromverbrauchsmessung wurden für jede Sägerei separat in einer Tabelle dargestellt und mit dem Betriebsleiter besprochen. Es wurde versucht den spezifischen Stromverbrauch pro Bereich zu ermitteln. Es wäre nun aber falsch, daraus das konkrete Stromsparpotential für den einzelnen Betrieb abzuleiten. Zu viele Parameter beeinflussen die Sanierungsmöglichkeiten, allen voran die Wirtschaftlichkeit. Für eine weitere Differenzierung der Vergleichswerte müsste eine grössere Anzahl von Betrieben untersucht und eine kompliziertere Struktur aufgebaut werden.

Der spezifische Stromverbrauch (kWh/fm und kWh/m³) eignet sich aber für die Orientierung. Er kann für die Betriebsführung (Stichwort Energiebuchhaltung) und als Richtgrösse bei Sanierungen und Neuanlagen herangezogen werden. Am einzelnen Betrieb kann aber aufgezeigt werden, für was wieviel Strom gebraucht wird. Im folgenden werden die Messergebnisse von drei Sägereien gezeigt:

Betrieb 1		Messung			Energie		
Anlage	Betriebsstunden	Last	Leerlauf	Anteil Last	Leerlauf	Total	Anteil
Einheit	h/a	kW	kW	%	kWh/a	kWh/a	%
Sägerei	6'600 fm/a	19 kWh/fm			62'391	123'773	46%
Sortierwagen	800	20	9	80%	1'440	14'240	5%
Entrindung	300	13	9	90%	270	3'834	1%
Rindenmühle	300	12	6	90%	165	3'405	1%
Blockbandanlage	1'950	30	6	30%	8'190	25'740	10%
Mechanisierung	1'950	14	6	10%	9'653	12'383	5%
Besäumer	1'250	15	5	30%	4'375	10'000	4%
Sägemehlventilator	1'950	14	14	20%	21'372	26'715	10%
Hackanlage	1'300	27	19	30%	16'926	27'456	10%
Trocknen	2'000 m3/a	54 kWh/m3			48'900	108'300	40%
Trocknungsanlage	7'800	12	12	50%	46'800	93'600	35%
Heizung	3'000	14	1	30%	2'100	14'700	5%
Nachbearbeitung	1'300 m3/a	12 kWh/m3			1'350	15'600	6%
Diverse					10'902	22'327	8%
Summe		293	125		123'543	270'000	100%
Elektrizitätswerk	Fr. 75'000	160	Spitze			270'000	Arbeit

Eine Sägerei, welche 6600 fm im Jahr auf der Blockbandanlage sägt. Die Entsorgung (Sägemehlventilator und Hackanlagen) braucht mehr Strom als die Blockbandanlage und der Besäumer.

Betrieb 2		Messung			Energie		
Anlage	Betriebs- stunden	Last	Leerlauf	Anteil Last	Leerlauf	Total	Anteil
Einheit	h/a	kW	kW	%	kWh/a	kWh/a	%
Sägerei	4'000 fm/a	9 kWh/fm			7'540	36'340	26%
Rundholzförderer	100	6	2	20%	120	240	0%
Gattersäge	600	36	18	70%	3'240	18'360	13%
Besäumanlage	600	20	8	60%	1'800	9'000	6%
Sägemehlventilator	600	14	13	70%	2'340	8'220	6%
Hackanlage	100	6	2	80%	40	520	0%
Trocknen	1'000 m3/a	90 kWh/m3			9'104	90'464	65%
Nachbearbeitung	600 m3/a	14 kWh/m3			847	8'692	6%
Diverse					1'100	3'300	2%
Summe		256	71		18'591	138'796	100%
Elektrizitätswerk	Fr. 33'000	190	Spitze			140'000	Arbeit

Für 4000 fm/a auf dem Gatter wird relativ wenig Strom benötigt. Für die Holz Trocknung wird wesentlich mehr Elektrizität pro m³ benötigt als in Betrieb 1 und 3.

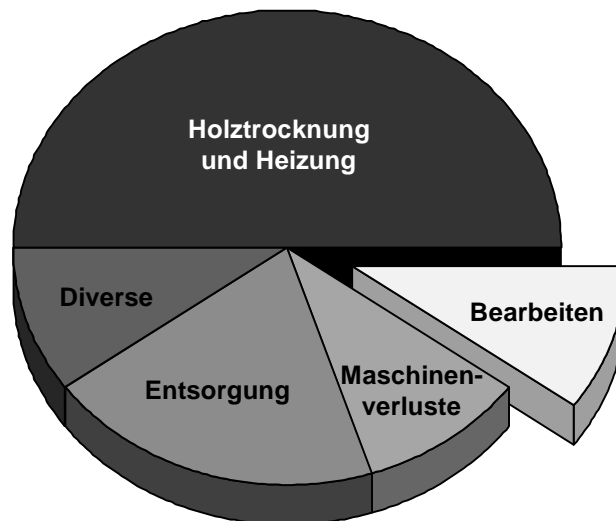
Betrieb 3		Messung			Energie		
Anlage	Betriebs- stunden	Last	Leerlauf	Anteil Last	Leerlauf	Total	Anteil
Einheit	h/a	kW	kW	%	kWh/a	kWh/a	%
Sägerei	4'200 fm/a	21 kWh/fm			21'400	87'000	70%
Sortierwagen	500	20	8	80%	800	8'800	7%
Gattersäge	1'000	50	30	80%	6'000	46'000	37%
Besäumanlage	800	15	10	30%	5'600	9'200	7%
Sägemehlventilator	1'000	10	10	80%	2'000	10'000	8%
Hackanlage	500	40	20	30%	7'000	13'000	10%
Trocknen	1'000 m3/a	26 kWh/m3			12'000	25'600	20%
Nachbearbeitung	420 m3/a	21 kWh/m3			1'560	8'700	7%
Diverse					1'300	3'700	3%
Summe		238	99		36'260	125'000	100%
Elektrizitätswerk	Fr. 30'000	120	Spitze			125'000	Arbeit

Die hohen Betriebsstunden auf der Gattersäge für 4200 fm/a verursachen einen überdurchschnittlichen Stromverbrauch, dafür wird relativ wenig für die Ventilatoren der Holz Trocknungsanlage benötigt.

Stromverbrauch in einer Sägerei

Die Sägewerke wurden in die Bereiche Sägerei, Trocknung, Nachbearbeitung und Diverse unterteilt. In den einzelnen Bearbeitungsstufen werden je nach Betrieb unterschiedliche Holzmengen und Qualitäten verarbeitet.

Zählt man den Stromverbrauch der Infrastruktur (Sortierwagen, Entsorgung, Trocknen ...) ab, so macht die eigentliche Holzbearbeitung (entrinden, sägen, besäumen, hobeln) nur noch etwa 20% aus. Zieht man davon noch die Verluste in den Maschinen (Leerlaufverluste) ab, so benötigt der eigentliche Bearbeitungsprozess nur rund 10% des Stromverbrauchs einer Sägerei.



Typischer Stromverbrauch bei Holzverarbeitenden Betrieben.

Wenn die eigentliche technische Prozessenergie nur einen Bruchteil des Stromverbrauchs ausmacht, so ist physikalisch gesehen mit erheblichen Energiesparmöglichkeiten zu rechnen.

Die bisherigen Auswertungen zeigen nur den Stromverbrauch pro Bereich, sie geben aber keine konkreten Hinweise auf die Energiesparmassnahmen. Wichtig für die Umsetzung sind die Ergebnisse, welche aus der Beobachtung in den Betrieben, den Messungen und den Diskussionen in der ERFA gezogen werden können.

4-Energiesparmöglichkeiten

4.1 Rundholzbereich

Sortierwagen



Von 15 untersuchten Betrieben waren deren 9 mit einem hydraulisch angetriebenen Sortierwagen ausgerüstet. Die 3500 bis 13'000 fm Einschnittmenge wurden mit einer Leistung von 5 bis 20 fm/h sortiert. Die Leistung hängt natürlich auch von der Homogenität des Rundholzes und den Sortierzielen des Betriebes ab. Das Kappen der Stämme macht etwa einen Drittel der Betriebszeit aus. Betrachtet man die effizienten Betriebe, so ist eine Produktivität von 12 fm/h inklusive Kappen möglich. Im Betrieb nehmen die Sortierwagen eine durchschnittliche Leistung von 20 kW auf. Im Leerlauf variieren die Werte zwischen 6 und 17 kW. Bei modernen Hydraulikaggregaten in dieser Leistungsklasse sollten *Leerlaufleistungen von 4 kW* und weniger möglich sein.

Leerlauf: Die Hydraulikaggregate der Sortierwagen laufen auch oft, wenn der Führer in der Kabine am Mobiltelefon ein Gespräch führt, und keine Stämme sortiert.

Das Rundholz wird auch mit konventionellen Krananlagen (ohne Hydraulikverluste) und mit Fahrzeugen sortiert. Ein Pneulader verbraucht während 600 Stunden etwa 3000 Liter Dieselöl, was 30'000 kWh Stunden Energie oder etwa 10'000 kWh Strom entspricht.

Entrindung

Es gibt Betriebe, welche die Stämme entrindet beziehen, vor dem Sägen entrinden oder in Rinde schneiden. Beim Sägen in Rinde vermischt sich das Restholz (Rinde und Holz), aber es braucht keine zusätzliche Maschinen für die **Entrindung**.



Für die maschinelle Entrindung wird eine Fräsekopfanlage oder ein Lochrotor eingesetzt. Der Energieverbrauch für die Entrindung ist gering, wenn die Maschine nach der Arbeit abgestellt wird.

Beispiel:

Der Asynchronmotor eines grossen Lochrotors nimmt während dem 15 Sekunden dauernden Hochlauf durchschnittlich 30 kW auf, im Leerlauf aber 15 kW. Abschalten lohnt sich also schon bei Pausen unter einer Minute.

Rundholzförderanlage

Die relativ grossen Motoren der Rundholzfordereinrichtungen verursachen einen geringen Stromverbrauch, weil die Einschaltzeiten durch die Automatisierung kurz sind.

4.2 Einschnitt

Gattersäge

Die Gatteranlage ist eine energie-effiziente Holzschneideeinrichtung, weil mehrere Schnitte gleichzeitig gemacht werden und die Stämme Stoss an Stoss durchlaufen könnten. Interessant



ist bei den untersuchten 10 ähnlichen Gattern die unterschiedliche Stundenleistung von 4 bis 7 fm. Wenn man während einer Stunde Stämme von 30 cm Durchmesser mit 4 m/min schneidet, so sollten 16 fm/h zu schaffen sein, wenn nichts klemmt. Bei einem zweiten Durchgang ergibt das 8 fm/h. Hochleistungsgatter schneiden auch mit 8 m/min. Entweder fährt man zu langsam, oder man stellt das Gatter bei Unterbrüchen nicht ab.

Die Leerlaufleistungen variierten zwischen 10 und 30 kW, der durchschnittliche Wert lag bei 19 kW inklusive Mechanisierung. Bei einer neuen Gatteranlage sollten *Leerlaufwerte von 8 kW* und weniger möglich sein und die Hilfsaggregate sollten sich automatisch abstellen. Für das Sägen wurde pro Blatt bei vollem Vorschub eine durchschnittliche Leistung von 2 bis 3 kW gemessen.

Bei den Gatter- und Blockbandanlagen konnte beobachtet werden, dass die Rollengänge auch liefen, wenn noch kein Holz zu transportieren war. Dieser unnötige Betrieb verursacht nicht nur Energiekosten sondern verschleisst auch die Mechanik.

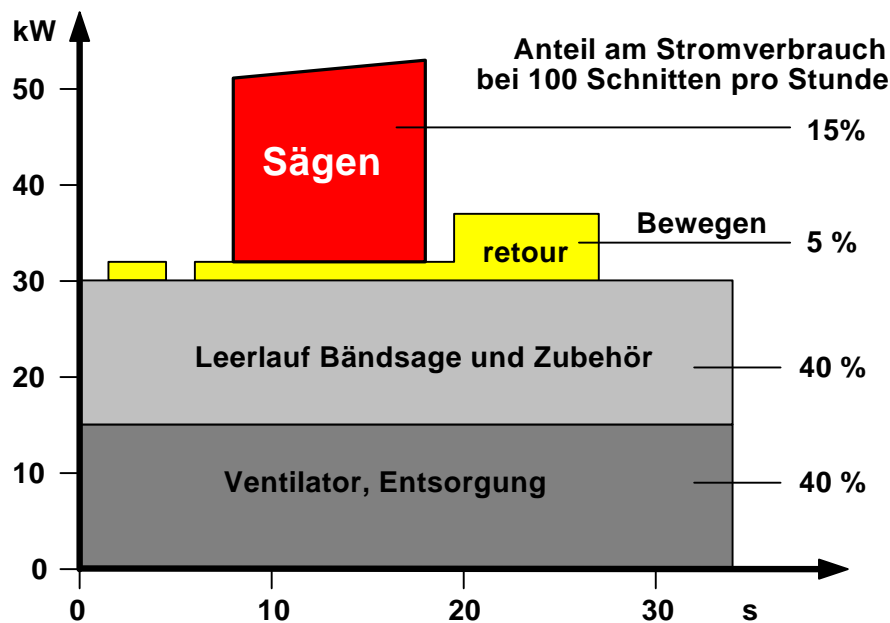
Blockbandsäge

Auf den 11 Blockbandsägen wurde zwischen 1,4 und 4,7 fm pro Stunde geschnitten. Die Betriebe mit hohen Einschnittmengen erreichten die besseren Werte. Als Zielwert wird eine Stundenleistung von 4 fm/h vorgeschlagen.



Die Leerlaufleistung weist sehr grosse Unterschiede von 7 bis 60 kW mit einem Durchschnittswert um 20 kW auf. Als Zielwert für eine moderne Anlage sind 6 kW *Leerlaufverluste* anzustreben. Schlecht in Bezug auf die Energie-Effizienz sind die Maschinen mit einem hydraulischen Hauptantrieb. Heute ist es Stand der Technik, dass man eine Hydraulikpumpe einsetzt, welche genau soviel Öl schöpft, wie gerade gebraucht wird. Bei den Bandsägeanlagen ist die eigentliche Schnittzeit relativ kurz (durchschnittlich 25%).

Durch die grosse bewegte Masse dauert der Hochlauf einer Bandsäge relativ lange, je nach Modell ist eine Energie von bis zu 300 kW nötig und es gibt Motoren, welche in der Sternschaltung dazu fast eine Minute brauchen. Mit einem Frequenzumrichterantrieb könnte bei Pausen die Bandsäge langsamer laufen oder auch abgestellt werden. Zusammen mit dem sanften Anlauf würde sich dadurch auch die Standzeit der Sägebänder erhöhen. Zusätzlich kann die optimale Bandgeschwindigkeit (Holzart, Winter, Sommer) gewählt werden.



Leistungsbedarf einer guten Blockbandsäge (4 fm/h).

Es ist nicht nur die Blockbandsäge, welche für den Prozess nur einen Bruchteil der aufgenommenen Energie benötigt, auch die dazugehörige Entsorgung (Ventilator, Hacker ...) wird schlecht ausgedastet. Bei einem kurzen Unterbruch sollten diese automatisch abgestellt werden.

Die bei der Gatteranlage gemachten Bemerkungen für die Rollengänge (bedarfsgerecht ansteuern) gelten auch für die Blockbandanlage.

Kreissäge

Diese Einschnittmethode besteht aus durchgehenden Sägescheiben oder je zwei bis zur Mitte schneidenden Scheiben (einer oberen und unteren). Bei der Kreissäge sind wegen dem einfachen mechanischen Aufbau geringe Leerlaufverluste zu erwarten. Ausserhalb der Energie-ERFA konnte ein grosser Betrieb mit einer Kreissäge für den Nachschnitt grob untersucht werden: mit der Mechanisierung (Hydraulikaggregate) und dem gleichzeitigen Einsatz von 2 Spanern wurde eine Leerlaufleistung von 50 kW (unter Last 160 kW) gemessen. Aus diesen Daten können noch keine Zielwerte abgeleitet werden.

Spaner



In grösseren Sägewerken werden die Seitenabschnitte der Stämme durch Spaner (Kreissäge mit Fräse) direkt vor der Hauptmaschine zu Schnitzel zerhackt. Die dazu erforderlichen grossen Motoren (50 kW) haben eine Leerlaufleistung von 3 bis 5 kW. Die erforderliche Zerkleinerungsarbeit muss nicht mehr durch die Hackanlage erfolgen. So gesehen sind die vermeintlichen "Stromfresser" effizient, vor allem wenn die Anlage gut ausgelastet ist und bei Unterbrüchen abgestellt wird. Bei neueren Anlagen sollten an Stelle der grossen und teuren polumschaltbaren Motoren Standardmotoren mit Fre-

quenzumrichter eingesetzt werden, welche dann auch bei kurzen Unterbrüchen problemlos ein- und ausgeschaltet werden können.

Besäumer

Die Produktivität der Besäumer (Längskreissäge) konnte nicht abgeschätzt werden, weil die Bearbeitung sehr stark vom Sortiment abhängt, welches nicht erfasst wurde.



Die Besäumer haben eine Leerlaufleistung von 4 bis 10 kW (Durchschnitt 7 kW). Für eine rotierende Achse mit Sägeblättern liegt der Zielwert mit 3 kW *Leerlaufleistung* nicht zu tief. Bei einer kontinuierlichen Weiterverarbeitung könnten bei einem Unterbruch an den vorgelagerten Maschinen der Besäumer und die zugehörigen Förder- und Entsorgungseinrichtungen mit wenig Aufwand automatisch abgestellt werden. Der Hochlauf erfolgte bei den untersuchten Maschinen innerhalb weniger Sekunden, bei den Förderbändern sogar innerhalb Sekundebruchteilen.

4.3 Entsorgung

In vielen Sägereien wurde festgestellt, dass die Entsorgung soviel Strom wie die Hauptmaschinen benötigt. Die grösste Energiesparmöglichkeit steckt in einem guten Entsorgungskonzept mit kurzen Wegen, grosszügigen Puffern, energie-effizienten Komponenten und einer optimierten Steuerung.

Kratzförderer und Förderbänder

Förderbänder und Kratzförderer können meistens ein mehrfaches (5 bis 10-fach) der anfallenden Schüttgüter transportieren. Diese Überdimensionierung wird zur Vermeidung von Verstopfungen bei Störungen gewählt. Die Reibungsverluste (Energie und Verschleiss) von solchen Anlagen sind aber proportional zur Fördergeschwindigkeit. Es wäre daher sinnvoll, diese Fördereinrichtungen nur mit voller Fracht laufen zu lassen, oder aber die Geschwindigkeit der anfallenden Holzmenge anzupassen (Frequenzumrichter, polumschaltbare Motoren oder Schaltgetriebe). Bei einem automatischen Ein- und Ausschalten ist die Personensicherheit zu beachten. Bei geöffneten Abdeckungen sollte die Anlage verriegelt sein.



Bei Sanierungen oder Neuanlagen liegt das Potential in einer richtigen Dimensionierung, welche dem durchschnittlichen Holzanfall entspricht und bei einem System, welches bei Störungen ohne Knochenarbeit wieder zum laufen gebracht werden kann.

Vibrorinnen

Auch Vibrorinnen benötigen relativ viel Leistung (etwa 0,5 kW/m²), ob Holz drauf liegt, oder nicht. Mit einem Sensor (Überwachung des Transportraumes oder der Kraft auf den Antrieb) könnte ein einfacher Start- und Stopbetrieb (inklusive Hackanlage) realisiert werden.

Hacker und Siebe

In den untersuchten Betrieben gab es verschiedene Ausführungen von Hack- und Siebeinrichtungen.



Die Leerlaufleistung für die automatische Entsorgung lag bei den Sägemehlventilatoren und bei den Hackanlagen je zwischen 4 und 22 kW (Durchschnitt 10 kW). Alle Hacker waren überdimensioniert, denn eine verklemmte Entsorgung kann den ganzen Produktionsprozess stoppen.

Optimal wäre eine Pufferung, welche stossweise die volle Auslastung der Anlage erlauben würde. Die minimale Lösung ist das automatische Abschalten im Leerlauf.

Absauganlagen

Die pneumatische Förderung (mit Ventilatoren) von Schüttgütern ist energetisch gesehen eine schlechte Lösung. Damit die Rohrleitung nicht verstopft, braucht es eine hohe Fördergeschwindigkeit. Für eine Verdopplung der Luftmenge wird etwa die 8-fache Leistung benötigt. Eine kurze, mit möglichst wenig Krümmungen gebaute Rohrleitung benötigt weniger Ventilatorleistung. Zusätzlich sind die Rohre und Zykclone regelmässig auf Verengungen und Lecks zu überprüfen. Auch Filter haben einen geringeren Strömungswiderstand wenn die Reinigung einwandfrei funktioniert. Der Druckabfall kann mit Differenzdruckmanometer überwacht werden, welche ab einem einstellbaren Wert Alarm geben.

In vielen Betrieben sind mehrere Maschinen an einer Absauganlage angeschlossen. Die Anlage



ist meistens so ausgelegt, dass in allen Rohren die minimale erforderliche Luftströmung möglich ist. Der gleichzeitige Betrieb kommt aber selten oder nie vor. Der Ventilator dürfte also langsamer laufen, wenn die nicht benötigten Rohre mittels Schieber verschlossen würden. Diese Anpassung kann mit elektrisch oder pneumatisch betätigten Schiebern und drehzahlvariablen Antrieben auch automatisiert werden. Wenn man für jede Maschine einen eigenen angepassten Ventilator vorsieht, hat

man das gleiche Ziel erreicht, und ist erst noch flexibel bei Änderungen im Maschinenpark. Details über Absauganlagen sind im Kapitel 'Technologien' ausgeführt.

Eine Alternative zu pneumatischen Fördereinrichtungen sind Spiralförderer, welche um Faktoren (3 bis 8) weniger Leistung benötigen und erst noch leiser sind. Zur Vermeidung des Staubaustritts an den Maschinen kann bei der Annahme zusätzlich ein kleiner (0,5 bis 1 kW) Ventilator mit Zyklon oder Filter installiert werden. Der Austrag in ein Silo erfolgt drucklos.

4.4 Holztrocknung

Alle untersuchten Sägereien verfügten über mindestens eine Trockenkammer. Der Stromverbrauch für die Holztrocknung und die Heizung ist trotz der kleinen Motoren hoch, weil diese 8000 Stunden pro Jahr laufen. Aus diesem Grund wird die Holztrocknung und Heizung im Kapitel 'Technologien' näher erläutert.

Trockenkammern

Der spezifische Stromverbrauchswert für die Holztrocknung ist von vielen Faktoren abhängig: Trocknungssystem, Kammerart, Holzart, Holzsortiment, Anfangs- und Endfeuchte, Trocknungsprogramm und Beschickung. Unabhängig vom der Kammergrösse wurden installierte Ventilatorleistungen von 50 bis 240 W/m³ Nutzrauminhalt gefunden. Als Zielwert wird 100 W/m³ vorgeschlagen. Eine grosse Energiesparmöglichkeit steckt in der Reduktion der Ventilatorlaufzeit oder in der Drehzahlabenkung während der Trocknungsphase unter dem Fasersättigungspunkt.



Eine Sägerei protokolliert in der Regel jeden Trocknungsprozess. Wenn dabei der Strom- und Wärmeverbrauch auch kontrolliert wird, steigt die Qualität und die Energiekosten fallen.

Heizung

Bei den neueren automatischen Holzfeuerungsanlagen sind die Gebläse meistens geregelt, und fallen darum im Stromverbrauch nicht gross ins Gewicht. Die Umwälzpumpen verursachen mit ihrem 24-Stundenbetrieb den relativ grossen Stromverbrauch. Die meisten Pumpen sind um Faktoren überdimensioniert, und laufen oft auch, wenn gar kein Wasser umgewälzt werden muss. Überschlagsmässig sollte die erforderliche *Anschlussleistung der Pumpe 1‰ der thermischen Kesselleistung* betragen.

4.5 Nachbearbeitung

Hobeln

Die Hobelmaschinen weisen im allgemeinen eine hohe Ausnützung auf (die Bretter werden Stoss an Stoss durchgeschoben). Schon wegen dem Lärm werden die Maschinen meistens nicht unnötig laufen gelassen. Die Leerlaufleistung lag bei den vergleichbaren 5-Achsen Maschinen zwischen 5 und 7 kW. Die Hobelmaschinen benötigen aber eine starke Absauganlage. Betriebe mit einer grossen Flexibilität im Sortiment können Breiten von über 30 cm hobeln. Die volle Breite ist aber nur ein paar Tage im Jahr gefragt. Die übrige Zeit sind viel zu breite Werkzeuge eingesetzt, welche wiederum eine grosse Luftmenge erfordern. Eine Lösung wäre da ein zweites günstigeres Werkzeugsortiment für die üblichen Breiten. Gleichzeitig könnten dann die Abluftöffnungen teilweise abgedeckt werden und der Ventilator mit einer tieferen Drehzahl laufen.

Kappen, Keilzinken

Mit einer Kappsäge, Keilzinkfräse und Verleimanlage wird durch das Ausscheiden der Fehlstellen im Holz und der folgenden Verleimen die Ausbeute an guter Holzqualität verbessert und dadurch auch die Energiebilanz für den Baustoff Holz.



Wenn man diese Automaten beobachtet, so erkennt man, dass der eigentliche Bearbeitungsprozess nur einen Bruchteil der Zykluszeit ausmacht. Dazu kommen noch oft Störungen an der Maschinen, welche die Zykluszeit verlängern. Die Anlage erfordert aber dauernd eine hohe Leistung (Absaugung, Druckluft, Hydraulik, Fräse, Trennsäge).

Wenn die einzelnen Aggregate bedarfsgerecht geregelt würden, wäre die gleiche Produktivität mit einem Bruchteil des heutigen Energieverbrauchs möglich.

Hinweis: Innovative Maschinenhersteller können energie-effiziente Anlagen bauen, wenn das ein Kaufkriterium ist. Der Käufer muss dafür nur die Betriebskosten (Kapital, Personal, Unterhalt, Energie, Entsorgung ...) als Zielgrösse wählen. Die Energiekosten werden vor allem von der Leerlaufleistung beeinflusst. Eine tiefe Leerlaufleistung ist auch ein Qualitätsmerkmal einer guten Maschine.

4.6 Diverse Energieverbraucher

Elektroheizungen

In den Kabinen der Maschinenführer wurden teilweise elektrische Widerstandsheizungen angetroffen. Die Wärmeenergie aus der Holzheizung wäre zwar günstiger, der Installationsaufwand aber viel höher. Oft hat es in der Nähe der Kabinen Abwärme (Schaltschrank, Hydraulikpumpen, Kompressoren ..), welche genutzt werden könnten. Wenn trotzdem noch Elektroöfen erforderlich sind, sollten die zu beheizenden Räume isoliert und abgedichtet werden. Die temperaturgeregelten Kleinheizungen sind mit sichtbaren Kontrolllampen und Wochenschaltuhren zu versehen.

Druckluft

Hochautomatisierte Betriebe benötigen viel Druckluft. Verglichen mit Elektroantrieben ist der Wirkungsgrad zehnmals schlechter. Druckluft wird aber von vielen Holzbearbeitungsmaschinen benötigt. Der Nenndruck ist auf einen möglichst tiefen Wert einzustellen, *über 6 bar ist selten erforderlich*. Ausserhalb der Arbeitszeiten kann der Kompressor zum Beispiel über eine Schaltuhr abgestellt werden. Weitere Details sind im Kapitel *Technologien* näher erläutert.

Stapler und Pneulader

In den Sägereien wurde öfters beobachtet, dass die Motoren von wartenden und kurz parkierten Fahrzeugen liefen. Es gilt *beim Warten immer abstellen*.

Licht

In den meisten Betrieben sind Fluoreszenzlampen im Einsatz. Teilweise wurden auch die weniger energie-effizienten Halogenglühlampen angetroffen. Die beste Beleuchtung ist das Tageslicht. Fensterreihen in den oberen Bereichen können brauchbares Licht bis 8 Meter tief in den Raum tragen. Mit Oberlichtern würde zusätzliches Licht an die Arbeitsplätze gebracht werden. Ein möglichst heller Anstrich der Innenflächen unterstützt eine gute Beleuchtung.

Die trotzdem notwendige künstliche Beleuchtung sollte auf die Arbeitsplätze abgestimmt sein, und sollte je nach Bedarf lokal ein- und ausgeschaltet werden können. Für eine energie-effiziente Beleuchtung mit guter Farbwiedergabe beim Arbeiten können Leuchtstofflampen (Durchmesser 26 mm oder neu 16 mm) und Halogen-Metaldampflampen eingesetzt werden. Gute und saubere Reflektoren unterstützen eine hohe Lichtausbeute. Die sparsamen Natriumdampflampen haben leider einen Gelbstich. Eine zu sparsame Beleuchtung wirkt sich schlecht auf die Qualität aus.

In den Nebenräumen (Heizung, Entsorgung ...) könnte die Beleuchtung mit einem "Präsenzmelder" ausgerüstet werden, in den Werkhallen mit einem Dämmerungsschalter.

Bürogeräte



Die Standby-Verluste von elektronischen Geräten wie Kopierern, Computern, Terminals, Steuerungen, usw. sind zu vermeiden. Ein dauernd eingeschalteter Kopierer mit zum Beispiel 40 Watt Leerlaufleistung verbraucht für 60 Franken Strom im Jahr, ohne ein Blatt zu vervielfältigen. Achten Sie beim Kauf auf das nebenstehende Label von Energie 2000. Die aktuellen Verbrauchszielwerte sind im *Anhang* aufgeführt.

5-Energie und Kosten

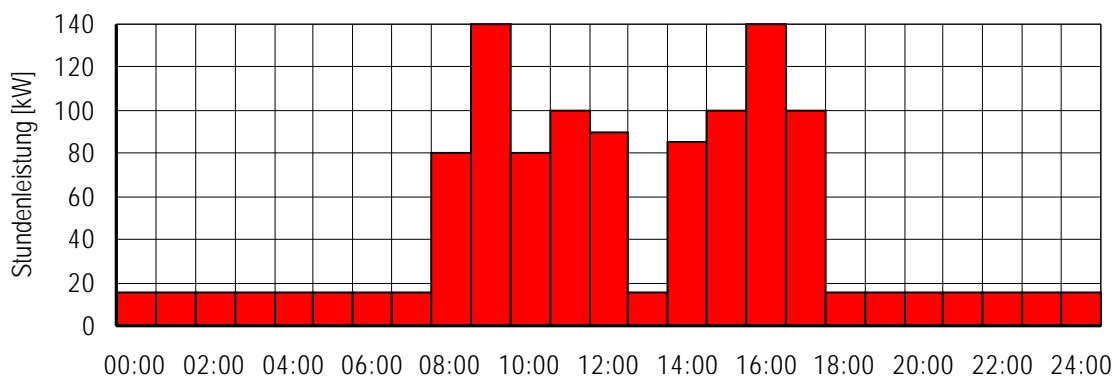
Die Stromkosten (Betrag der Stromrechnung durch Stromverbrauch in kWh) variierten bei den 15 untersuchten Betrieben zwischen 17 und 28 Rappen pro kWh. Die Stromkosten setzen sich aus einer Grundtaxe, dem Arbeitspreis (kWh Hochtarif und kWh Niedertarif), dem Leistungspreis (kW) und den Blindarbeitskosten (kVar) zusammen.

5.1 Leistungstarif

Das Elektrizitätswerk muss bei seinem Stromlieferanten für jede Tagesstunde die benötigte Leistung vorbestellen. Damit es die Kosten im Griff behält, versucht es, den Spitzenleistungsbedarf gering zu halten, indem es seinen Kunden das Leistungsmaximum (üblicherweise während 15 Minuten) pro Ableseperiode in Rechnung stellt. Das Kilowatt kostet zwischen 72 und 240 Franken im Jahr.

Der hohe Anlaufstrom von Maschinen hat praktisch keine Wirkung auf die Leistungskosten, weil die kurze Anlaufzeit innerhalb der 15 Minuten dauernden Messung unbedeutend ist.

Das Verhältnis zwischen der durchschnittlichen Leistungsaufnahme aller Maschinen und dem verrechneten Leistungsmaximum erstreckte sich bei den untersuchten Betrieben von 36% bis zu 100%. In der Sägerei können zur Vermeidung von Leistungsspitzen Lastoptimierungsgeräte eingesetzt werden. Diese Geräte messen dauernd die Leistung am Hauptanschluss. Wenn das eingestellte Maximum überschritten wird, so stellen sie vordefinierte untergeordnete Anlagen für eine einstellbar Zeit ab. So zum Beispiel die Heizung, die Holztrochnungsanlage und den Hacker.



Tageslastgang einer Sägerei.

5.2 Blindarbeit

Elektromotoren holen sich aus dem Stromnetz nicht nur Energie für ihre Arbeit, sie leihen sich auch Energie für die Magnetisierung (Blindleistung) aus. Diese Magnetisierungsenergie pendelt 50 mal pro Sekunde zwischen Kraftwerk und Motor hin und her. Der dazu notwendige Strom erhöht die Leitungsverluste beim Elektrizitätswerk um bis zu 50%. Aus diesem Grund werden diese zusätzlichen Übertragungsverluste in Rechnung gestellt, wenn sie einen bestimmten Wert überschreiten. Mit Kondensatoren kann aber die benötigte Blindleistung direkt bei der Anlage kompensiert werden, dadurch verschwinden die zusätzlichen Leitungsverluste und deren Verrechnung. Eine gute Wirtschaftlichkeit ergibt sich ab 1000 Franken Blindleistungskosten pro Jahr. Je höher die Blindleistungskosten sind, desto rentabler ist eine Kompensationsanlage.

Beispiel Wirtschaftlichkeit:

Durchschnittsleistung 50 kW bei 2000 Betriebsstunden pro Jahr. Leistungsfaktor $\cos \phi = 0,7$ (51 kVar), erlaubt sind $\cos \phi = 0,92$ (23 kVar). Kostenpflichtiger Blindleistungsbezug: $(51 - 23) \text{ kVar} * 2000 \text{ h} = 56'000 \text{ kVarh}$. Blindleistungskosten: $56'000 \text{ kVarh} * 0.035 \text{ Fr./kVarh} = 1960.-- \text{ Fr./Jahr}$. Eine entsprechende Kompensationsanlage mit $(5 * 6,25 \text{ kVar})$ für Fr. 5100.-- rentiert also ab 3 Jahren.

Nicht nur Motoren, auch Transformatoren und Drosselspulen (zum Beispiel für Leuchtstoffröhren) benötigen Blindleistung. Elektroantriebe welche mit Frequenzumrichtern ausgerüstet sind, benötigen aber praktisch keine Blindleistung. In Betrieben mit vielen Phasenanschnittgeräten (Gleichstrommotoren, Schweißmaschinen ...) kann mit einer verdrosselten Kompensationsanlage das Netz zusätzlich von Oberwellen gesäubert werden. Für eine Beratung kontaktiert man das lokale Elektrizitätswerk oder eine spezialisierte Firma (siehe *Anhang*).

5.3 Kleinwasserkraftwerke

In vielen Sägereien wurde früher die Wasserkraft genutzt. Kleine Wasserkraftwerke (10 bis 1000 kW Leistung) sind bestens erprobte und oft auch rentable Anlagen, wenn die Infrastruktur noch vorhanden ist. Die meisten Elektrizitätswerke halten sich an den vom Bund empfohlenen Rücklieferarif von 0.16 Fr./kWh. Weiterführende Literaturhinweise über kleine Wasserkraftwerke sind im *Anhang* zu finden.

5.4 Holzverstromung

Die typische Ausbeute, welche thermischen Kraftmaschinen abgerungen werden kann, liegt bei 30% elektrisch, 60% thermisch und 10% Verluste. Für grössere Holzverarbeitungsbetriebe (ab 1000 m³ Energieholz pro Jahr) und genügend ganzjährige Wärmebezüger kann die Kraft-erzeugung aus Holzenergie interessant sein, vor allem mit staatlichen Unterstützungsbeiträgen. Momentan sind drei verschiedene Verfahren aktuell:

Dampfturbinen: Erprobte Systeme im Megawattbereich sind vorhanden. Pilotanlagen mit kleineren Turbinen sind am Anlaufen.

Dampfmaschinen: Eine schon in der Vergangenheit erprobte Technik (Dampflokomotiven), welche heute kaum noch angewendet wird (relativ tiefer Wirkungsgrad).

Holzvergasung: Einige Pilotanlagen sind in Betrieb (Material- und Teerprobleme).

5.5 Blockheizkraftwerke

Wenn eine Sägerei fossile Energieträger (Heizöl oder Gas) für die Heizung einsetzt, ist die Rentabilität einer Wärme-Kraft-Kopplung zu prüfen. Der hohe Wärmebedarf für die Holz-trocknung gibt eine gute Grundlast für die anfallende Abwärme von Blockheizkraftwerken. Optimal wäre ein Betrieb nur während der Arbeitszeit zur Deckung eines Teils des Strombedarfs. Ein Teil der dabei entstehenden Wärme müsste für die Wärmeversorgung in der übrigen Zeit gespeichert werden.

5.6 Energiepartnerschaften

Für Investitionen in Energiesparmassnahmen oder Energieproduktionsanlagen können von Institutionen (ADEV Bern, SOLARSPAR Genossenschaft Nordwestschweiz, Zürcher Kantonalbank ...) vorteilhafte Finanzierungen bereitgestellt werden. Mit dem lokalen Elektrizitätswerk können Vereinbarungen getroffen werden, welche über eine Finanzierung hinaus gehen. Zum Stichwort Contracting sind im *Anhang* Literaturhinweise zu finden.

Technologien

Holztrocknung

In holzverarbeitenden Betrieben (Sägereien, Hobelwerken und Schreinereien) beanspruchen die zahlreichen Bearbeitungsmaschinen nur einen Teil des jährlichen Stromverbrauchs. Die grossen Energiebezüger sind die Heizungs-, Trocknungs- und Absauganlagen. Der hohe Stromkonsum der Trockenkammern und Heizungen mit den relativ kleinen Motoren mag erstaunen, aber diese Anlagen laufen Tag und Nacht, das ganze Jahr.

Erfassung des Energieverbrauchs

Betrachtet man die Anschaffungs- und Betriebskosten einer automatischen Holzheizung und einer Trockenkammer, so ist es erstaunlich, dass der Energieumsatz oft nicht gemessen wird. Der Stromverbrauch kann zum Beispiel mit einem ausgedienten Stromzähler erfolgen (beim lokalen EW erhältlich). Für die Wärme gibt es ein grosses Angebot an Wärmemessern die auch für die verbrauchabhängige Heizkostenabrechnung benötigt werden.

Wenn noch keine Messeinrichtung installiert ist, so kann der Stromverbrauch von Heizung und Trocknung aus der Stromrechnung abgeschätzt werden. In vielen Betrieben läuft in der Nacht nur die Heizungs- und Trocknungsanlage (eventuell noch Kompressor, Kühltank und Boiler). Die Niedertarifzeit liegt in den meisten Stromversorgungsgebieten zwischen 22 Uhr abends und 6 Uhr morgens, sie macht einen Drittel der 8760 Jahresstunden aus. Der Stromverbrauch der Holztrocknung und Heizung, welche auch tagsüber laufen, entspricht somit dreimal der Niedertarifenergie. In Gebieten mit zusätzlichem Niedertarif über das Wochenende ist es ungefähr Faktor zwei. Anhand des Tarifblattes vom EW lässt sich der genaue Faktor (168 Wochenstunden durch die wöchentlichen Niedertarifstunden) leicht errechnen.

Mit der regelmässigen Protokollierung des Wärme- und Stromverbrauchs pro Betriebsstunde kann der Anlagezustand überwacht werden. Bei der Holztrocknung kann zum Beispiel überprüft werden, ob alle Ventilatoren in Betrieb waren, die Wärmetauscher funktionierten oder die Trocknungscharge mehr oder weniger Energie benötigte.

Systeme für die technische Holztrocknung

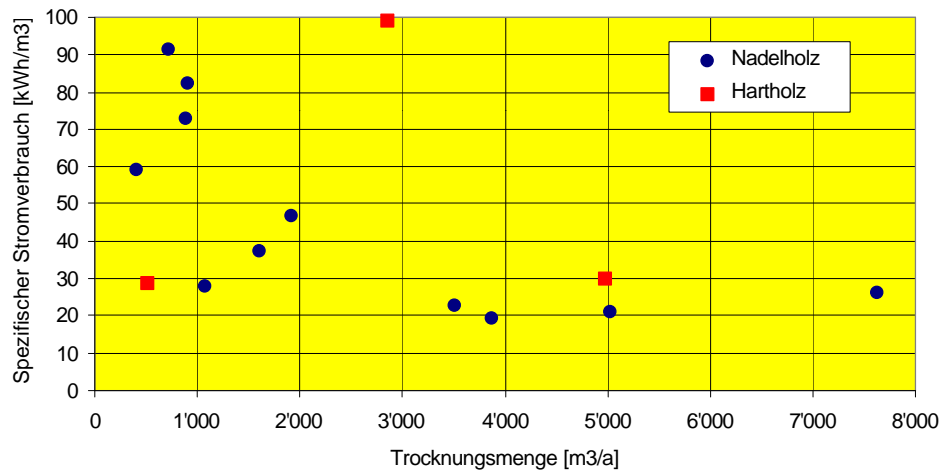
Am weitesten verbreitet ist die *Zu-/Abluft-Trocknungsanlage*, bei der die Feuchtigkeit über Abluftklappen entweicht und frische Aussenluft aufgeheizt wird. Dieses Trocknungssystem verschwendet zwar Wärme (heisse feuchte Luft), erfordert aber nur einen geringen technischen Aufwand. Dieses System wird in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

Bei den *Kondensationstrocknern* wird die feuchte Luft in der Kammer auskondensiert. Die gewonnene Kondensationsenergie wird über eine Wärmepumpe wieder zur Erwärmung der abgekühlten Umluft genutzt. Das Temperaturniveau ist tiefer als bei den Zu-/Ablufttrocknern, die Trocknungszeit und der Stromverbrauch ist aber viel höher.

Für empfindliche Laubhölzer werden teilweise *Vakuumtrockner* eingesetzt. Durch den Unterdruck verdunstet das Wasser schon bei tieferen Temperaturen, dafür kann die dünne Luft nicht viel Wasser wegtragen. Der technische Aufwand ist hoch (Druckkammer, Vakuumpumpe), die Trockenzeit verkürzt sich aber für vorgetrocknetes Holz. Bisher sind zuwenig Erfahrungen für eine Beurteilung der Energie-Effizienz dieser Technologie vorhanden.

Vergleich von Trocknungskammern

Vergleicht man den spezifischen Stromverbrauch (kWh pro m³ getrocknetem Holz), zeigen sich grosse Unterschiede. Diese grossen Abweichungen rühren nicht nur von der Energieeffizienz der Trockenkammern her, sondern auch vom Holz (Ausgangsfeuchte, Endfeuchte, Holzart, Bretterdicke) und von der Bedienung (Beschickung, Programmwahl, Wartung).



Der spezifische Stromverbrauch für das Zu-/Abluft-Trocknungsverfahren variiert zwischen 20 und 100 kWh/m³ (der Stromverbrauch der Heizungsanlage ist hier nicht eingerechnet).

Als energetische Vergleichsgrösse einer Trockenkammer bietet sich die installierte Ventilatorleistung und benötigte Heizleistung pro Nutzvolumen (Raum für die Holzstapel) an. Für die Beurteilung der Kammerkonstruktion ist auch das Verhältnis zwischen Aussenvolumen, Nutzvolumen und Holzvolumen interessant.

Anlage		Dimension					Leistung			
Kammer	Baujahr	Aussenvolumen	Nutzvolumen	Holzvolumen	Kammeranteil	Holzanteil	Heizung	Ventilatoren	Spez. Heizleistung	Spez. Ventilatorleis.
Nr.		m ³	m ³	m ³	%	%	kW	kW	kW/m ³	W/m ³
1	1990	230	136	34	59%	25%	335	8	2.5	55
2	1995	190	87	26	46%	30%	262	5	3.0	57
3	1993	214	108	34	50%	31%	285	7	2.6	63
4	1985	240	100	50	42%	50%	250	7	2.5	70
5	1991	501	200	40	40%	20%	210	15	1.1	75
6	1985	350	175	75	50%	43%	350	14	2.0	80
7	1991	196	60	17	31%	28%	174	7	2.9	113
8	1990	110	52	18	47%	35%	105	7	2.0	127
9	1990	110	52	15	47%	29%	105	7	2.0	127
10	1994	294	130	28	44%	22%	200	18	1.5	138
11	1984	120	50	25	42%	50%	120	7	2.4	140
12	1991	145	85	20	59%	24%	100	12	1.2	141
13	1991	104	41	12	39%	29%	90	6	2.2	146
14	1989	128	41	12	32%	29%	100	6	2.4	146
15	1989	440	188	80	43%	43%	300	27	1.6	144
16	1977	147	77	29	52%	38%	175	15	2.3	195
17	1986	67	42	14	63%	33%		9		214
18	1970	33	13	6	40%	41%		3		224
19	1970	38	13	6	35%	42%		3		224
x	1987	193	87	28	45%	34%	192	10	2.2	130

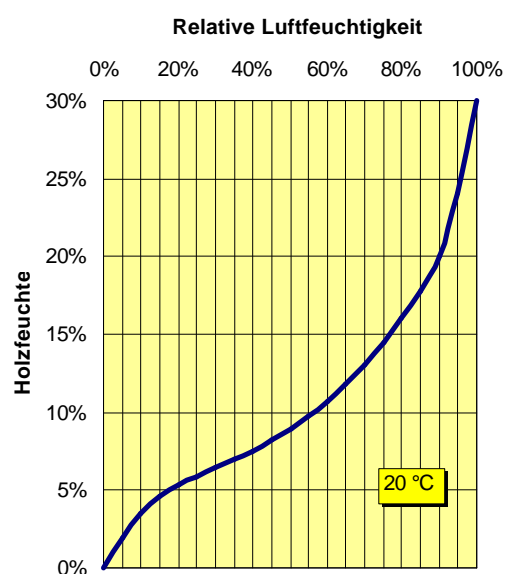
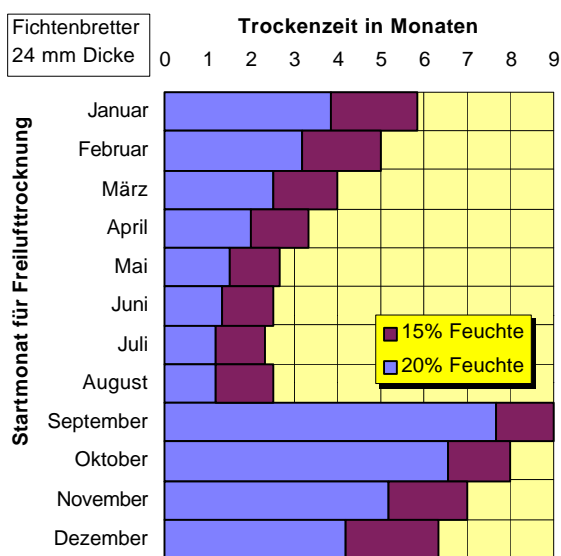
Die Trockenkammern Nr. 1 bis 6 benötigen unter 100 Watt Ventilatorleistung pro m³ Nutzvolumen.

Kammer	Zeit			Produkt und Betrieb										
	Jahreschargen	Betriebsstunden	Chargendauer	Holzart	Programmanteil	Brettdicke	Stapelleiste	Anfangsfeuchte	Endfeuchte (Sollwert)	Aufheizzeit	Trockentemperatur	Drehzahl 1	Drehzahl 2	Ausschuss
Nr.		h	h		%	mm	mm	%	%	h	°C	%	%	%
1	50	7200	144	Fi	95%	70	27	50%	13%	20	73	90%	75%	
2	20	6800	340	Bu	60%	36-50	24	25%	10%	10	60	100%	80%	0%
3	45	6500	144	Fi	80%	70	27	50%	13%	20	73	90%	75%	
4	35	8000	229	Fi		60	24	45%	10%	15	65	100%	66%	
5	40	6002	150	Ta	80%	15-140	24-30	25%	12%	12	70	90%	30%	5%
6	20	8000	400	Fi/Bu		30-80	24	23%	9%	15	65	100%	66%	
7	40	6200	155	Fi	50%	70	27	50%	13%	20	73	90%	75%	
8	40	7800	195	Fi	80%	70	24	40%	10%	14	60	100%	100%	6%
9	80	7800	98	Fi	70%	24-60	24	35%	12%	9	70	100%	100%	4%
10	30	7000	233	Bu	50%	30	24	40%	10%	6	57	80%	90%	
11	25	8000	320	Fi		div.	24	50%	18%	15	65	100%	66%	1%
12	60	7000	117	Fi/Ta	90%	24-36	24	40%	12%	8	65	100%	40%	5%
13	36	7400	206	Fi/Ta	70%	65	24	40%	12%	10	58	100%	100%	2%
14	38	7800	205	Fi/Ta	70%	65	24	40%	12%	10	58	66%	66%	1%
15	70	7200	103	Fi	70%	30	24	25%	10%	9	60	60%	60%	5%
16	30	7200	240	Fi	70%	30	24	25%	10%	9	60	60%	60%	5%
17	51			Fi		24-160	24	60%	20%	10	70	100%	66%	3%
18	50	3500	70	Fi		24-60	18	17%	9%		55	100%	100%	
19	75	3321	44	Fi		24-60	18	17%	9%		55	100%	100%	
x	44	6818	188	Fi	72%	56	24	37%	12%	12	64	91%	74%	3%

Je nach Sortiment dauert die Holztrocknung einer Charge zwischen 40 und 400 Stunden.

Die natürliche Holztrocknung

Trockenes Holz mit 12 und weniger Prozent Holzfeuchte wird für viele Weiterverarbeitungsprozesse vorausgesetzt. Die natürlichen Freilufttrocknung dauert Monate und gefährdet die Holzqualität bei zu trockener Witterung (z.B. Föhn). Holzfeuchtwerte von unter 15% sind in unsern Breitenlagen nicht erreichbar. Wenn es Liefertermin und Klima zulassen, ist eine Vortrocknung im Freien eine einfache und wirksame Energiesparmöglichkeit.

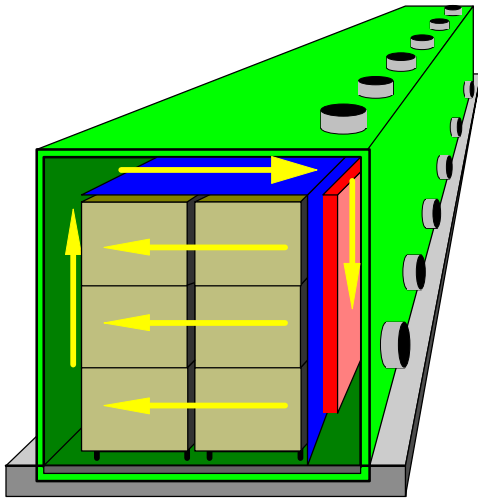


Ab September dauert die Freilufttrocknung für 24 mm Fichtenbretter auf 20% Feuchte mehr als 7 Monate.

Für Holzfeuchten unter 15% sind klimatisierte Trockenräume nötig.

Die Trockenkammer

Im folgenden wird die Holztrocknung am Beispiel einer Zu-/Abluft Kammer (Breite 4,4 m, Höhe 4,2 m, Länge 12,4 m) bei 0 °C Aussentemperatur und 50% Holzfeuchte beschrieben.



Trockenkammer mit 12 Stapeln
(1,4 * 1,1 * 6 m) Fichtenbretter.

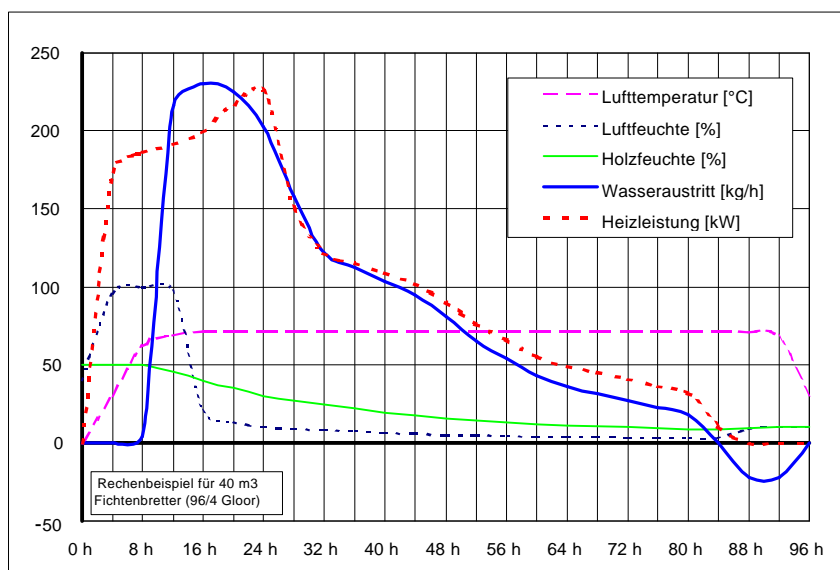
Aussenvolumen	230 m ³
Aussenfläche	250 m ²
Isolation (k-Wert)	0,5 W/m ² K
Wärmeverlust bei 70°C	9 kWh

Nutzvolumen	110 m ³
Speichermaße Kammer	5'000 kg
Kammererwärmung auf 70°C	100 kWh
Dampf bei 70°C, 100%	30 kg
Lufterwärmung 70°C, 100%	25 kWh

Holzvolumen	40 m ³
Holzerwärmung auf 70°C	700 kWh
Wasser bei 50% Holzfeuchte	9'000 kg
Wassererwärmung auf 70°C	730 kWh
Wasserverdampfung auf 10%	4'500 kWh

Summe über 96 h Trocknung 10'000 kWh

Bei diesem Beispiel werden innerhalb von 4 Tagen über 7 Tonnen Wasser aus den 40 m³ Holz herausgetrocknet. Nach der Aufheizphase, welche etwa 15% der Trocknungsenergie benötigt, folgt die Austreibung des freien Wasser bis zum Fasersättigungspunkt bei etwa 30% Holzfeuchte. In dieser Phase kann mit einer hohen Luftgeschwindigkeit Trocknungszeit gewonnen werden. Das Wasser aus dem Holz erhöht die Feuchtigkeit der Kammerluft, welche dann über automatisch betätigte Klappen nach aussen entweicht. Für das Aufheizen der zuströmenden trockenen Aussenluft werden etwa 25% der Trocknungsenergie benötigt. Die Wärmeverluste durch die Kammerwand und den Boden machen rund 10% des Energieverbrauchs aus. Die erforderliche Verdampfungsenergie für das Wasser im Holz könnte durch Kondensation auf einem tieferen Temperaturniveau (um 35 °C) zurückgewonnen werden. Mit dieser Wärme könnte zum Beispiel eine Niedertemperaturheizung für ein Holzlager versorgt werden.



Wie die Heizleistung, nimmt auch die benötigte Ventilatorleistung mit zunehmender Trocknung ab.

Energiesparmöglichkeiten

Das Wichtigste bei der Holztrocknung ist die Qualität und Wirtschaftlichkeit. Qualität bedeutet aber auch, dass man den Trocknungsprozess beherrscht, und weiss, welche Parameter welchen Einfluss haben. Die Untersuchungen haben ergeben, dass die experimentierenden und protokollierenden Betreiber eine bessere Qualität und eine höhere Energie-Effizienz bei der Holztrocknung erreichen.



Eine Geometrie mit grosser Stapeltiefe beeinflusst die Energie-Effizienz positiv.

Kammerisolation

Eine gut isolierte Kammer benötigt weniger Energie. Bei Gebäuden (mit einer Temperaturdifferenz von nur 30 °C) besteht eine gute Wärmedämmung aus mindestens 10 cm Isoliermaterial für die Wände und 20 cm für das Dach. Für eine Trockenkammer (mit einem ΔT von 70 °C) wäre also die doppelte Isolationsstärke sinnvoll. Durch die intensive

Luftströmung in der Kammer geht auch über den Boden Wärme verloren. Dieser könnte zum Beispiel mit einer Schicht Schaumglas isoliert werden. Während dem Aufheizen entweicht auch Wärme durch undichte Klappen und Türdichtungen.

Heizung

In vielen Betrieben läuft die Heizung mit einer konstanten Vorlauftemperatur von 90 °C bis zur Trockenkammer, ob diese nun in Betrieb ist oder nicht. Mit guten Wärmetauschern sind auch tiefere Vorlauftemperaturen für die Holztrocknung möglich. Die Heizungsanlage sollte von einem Fachmann (vorteilhaft nicht der Installateur) optimiert werden. Bei einer üblichen Kontrolle wird an den "falschen" Einstellungen nichts verändert.

Umwälzpumpen

Die eingesetzten Umwälzpumpen sind meistens um Faktoren zu gross. Als Richtwert sollte die Pumpenleistung etwa 1% der Heizleistung ausmachen, bei Leistungen über 100 kW sogar noch weniger. Für eine 400 kW Heizung genügt also eine 300 Watt Pumpe. Eine Umwälzpumpe muss nur laufen, wenn Wärme transportiert wird. Die Pumpe kann bei geringerem Wärmebedarf auch langsamer laufen. Für die halbe Durchflussmenge wird achtmal weniger Pumpenleistung benötigt.



Luftumwälzung

Eine Verdoppelung der Luftmenge erfordert die achtfache Leistung. Es wäre daher angebracht, immer nur soviel Luft zu fördern, wie benötigt wird. Bei einer Kammerbeschickung mit dünnen Brettern stellt die freie Luftöffnung etwa 50% des Querschnitts dar. Für eine Luftströmung von 2,5 m/s ist eine bestimmte Luftmenge nötig. Bei einer Beladung mit Balken beträgt die freie Luftöffnung (auch bei dickeren Stapelleisten) nur etwa 30% des Strömungsquerschnitts. Hier würde als schon beim Start eine reduzierte Luftmenge genügen.

Eine Ventilatoranlage kann mit polumschaltbaren Motoren in fixen Drehzahlstufen betrieben oder mit Standardmotoren und Frequenzumrichtern stufenlos eingestellt werden. Die Einstellung sollte so skaliert werden, dass die tiefste Einstellung der Drehzahl mit einer noch brauchbaren Luftgeschwindigkeit entspricht. Je nach Ventilatorotyp entstehen unter einer gewissen Drehzahl nur unnütze Luftstösse (pumpen).

Mit einer Intervallschaltung (zum Beispiel als verlängerte Pausenzeit zwischen der Luftströmungsumkehr) wird mit geringen Investitionen der Stromverbrauch der Ventilatoren reduziert. In der Trocknungsphase unter 30% Holzfeuchte kann meistens ohne Qualitäts- und Zeitverlust mit einer geringeren Luftumwälzung gefahren werden. An die optimalen Werte muss sich der Betreiber mit Versuchen herantasten.

Bei den langen Betriebszeiten der Trockenkammern ist der Einsatz von energie-effizienten Ventilatoren und Antriebsmotoren rentabel. In vielen Trockenkammern werden 3 kW Axialventilatoren für 30'000 m³/h bei 160 Pascal eingesetzt. Sie haben bei voller Leistung einen Wirkungsgrad von unter 50%. Weil über das ganze Stapelvolumen eine gleichmässige Luftströmung erforderlich ist, sind tiefe Kabinen vorteilhaft. So werden weniger Ventilatoren benötigt und diese sind besser ausgenützt.

Holzart	Strömungsgeschwindigkeit bis zur Fasersättigung	Stapeltiefe
Fichte	2,5 bis 3,0 m/s	4,8 m
Buche	1,5 bis 1,8 m/s	7,5 m

Bei Laubholz bringt eine hohe Luftgeschwindigkeit nur hohe Stromkosten.

Spitzenleistung

In Sägereien machen die Spitzenleistungskosten 25 bis 40% der Stromkosten aus. In vielen Fällen kann die Trocknungsanlage während einem hohen Leistungsbedarf im Werk mit reduzierter Leistung gefahren werden oder sie wird ganz abgeschaltet. Eine Reduktion der Spitzenleistung um 20 kW spart im Jahr 2000 bis 4000 Franken.

Betrieb

Idealerweise sollten in einer Trockenkammer nur Hölzer gleicher Art, Stärke und mit gleichen Anfangs- und Endfeuchten getrocknet werden. Bei der Stapelung ist zu beachten, dass die Luft ungehindert durch die Stösse strömen kann (kein Versatz bei nebeneinander liegenden Stapeln). Üblicherweise ist der Abstand zwischen den Brettern 22 mm. Bei Balken kann aber auch ein grösserer Abstand (30 mm) vorteilhaft sein.

Fast alle Trockenkammern haben Stellen mit ungünstiger Luftströmung. Bei der Trocknung muss gewartet werden, bis auch dort die Endfeuchte im Holz erreicht wird. Der gute Betreiber kennt diese Problemecken und stellt in diese Zonen Holz mit minderer Qualität, hat grössere Zwischenräume zwischen den Brettern oder lässt sie frei.

Die Energiesparmöglichkeiten stecken in der optimalen Beschickung, dem geschickten Platzieren der Messpunkte, im richtigen Trocknungsprogramm und in der zuverlässigen Wartung.

Absauganlage

Bei Lüftungsanlagen im Haustechnikbereich kann mit einer grosszügigen Dimensionierung der Luftkanäle Energie gespart werden. Bei Absauganlagen braucht es aber in den Rohrleitungen hohe Luftgeschwindigkeiten damit die Holzabfälle abtransportiert werden.

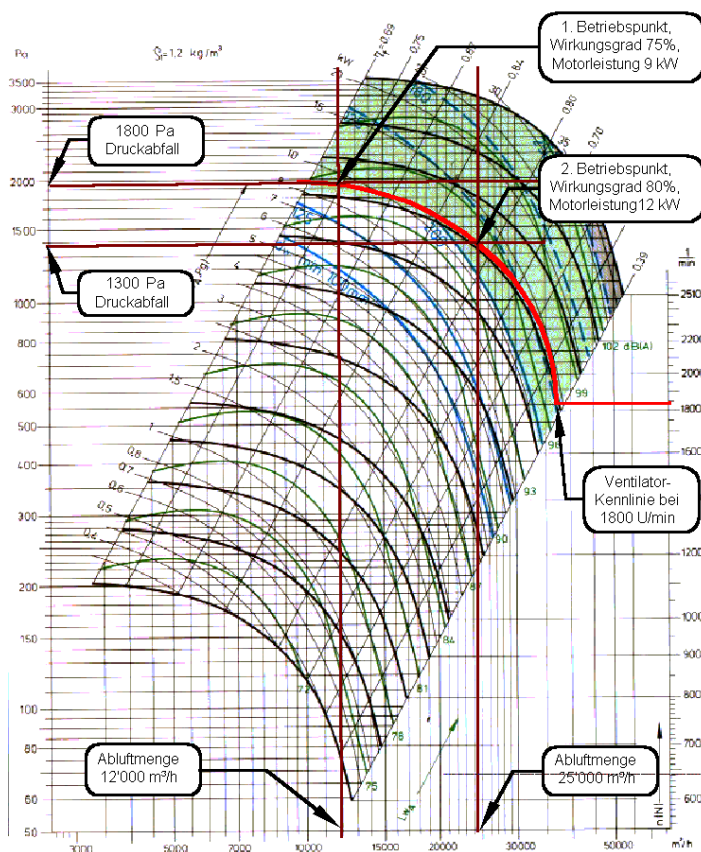
Fördergeschwindigkeit

Für den Transport von trockenem Holzstaub sind Mindestgeschwindigkeiten von 16 m/s notwendig, für feuchte Späne 20 m/s. Bei Hochleistungs-Hobelmaschinen sind Ansauggeschwindigkeiten von bis zu 30 m/s erforderlich. Der Druckabfall in den Ansaugstutzen, den Rohrleitungen und Krümmern steigt im Quadrat mit der Luftgeschwindigkeit. Aus diesem Grund ist es wichtig, möglichst kurze Leitungen mit einem Minimum an Bögen zu bauen.

Beispiel: Der Spänetransport mit 3500 m³/h Luft über eine 20 m lange Rohrleitung mit 250 mm Durchmesser erzeugt einen Druckverlust von 400 Pascal, wozu eine pneumatische Leistung von 400 Watt erforderlich wäre. In der Praxis entspricht das 1000 Watt Leistung für den Ventilatormotor. Jeder Rohrbogen benötigt soviel Leistung wie zusätzliche 5 Meter Rohrlänge.

Optimierung der Absaugmenge

In den meisten Anlagen ist die Luftgeschwindigkeit höher als nötig. Die Überdimensionierung ist üblich, denn Reklamationen gibt's bei zu schwachen Anlagen und nicht bei zu hohen Stromrechnungen. Die Reduktion der Luftmenge erfolgt am besten über die Ventilator Drehzahl. Bei einem Riemenantrieb kann mit einem grösseren Scheibendurchmesser beim Ventilator die Drehzahl verringert werden. Bei Direktantrieben hilft eventuell ein neuer Motor mit einer höheren Polzahl oder sonst ein Frequenzumrichter.

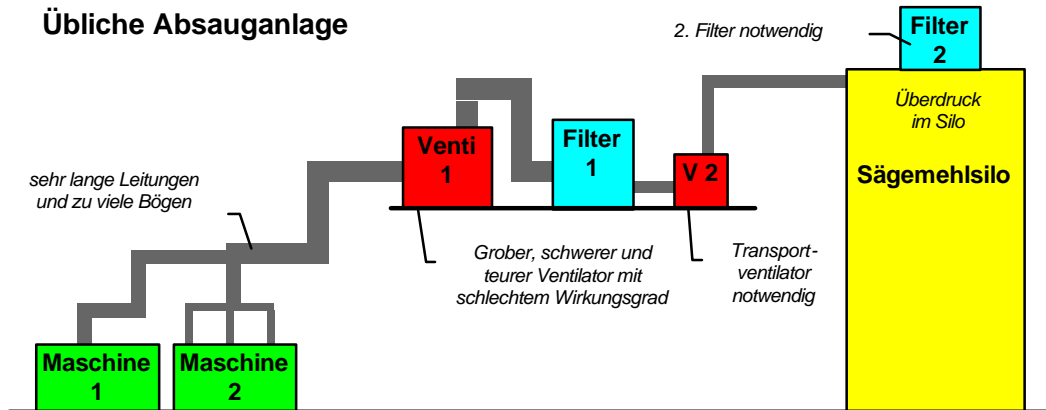


Wenn an einem Ventilator mehrere Maschinen angeschlossen sind, so sind die Schieber der nicht benötigten Ansaugstutzen zu schliessen. Auch bei unregelmässigen Absauganlagen lässt sich damit etwas Energie sparen, wie das nebenstehende Diagramm zeigt. Noch mehr Energie lässt sich einsparen, wenn dazu mit einem Frequenzumrichter die Ventilator Drehzahl auf das momentane Optimum eingestellt wird.

Eine optimierte Absauganlage läuft nur, wenn etwas zu transportieren ist. So würde zum Beispiel an der Bandsäge nur Luft angesogen, wenn Sägemehl anfällt.

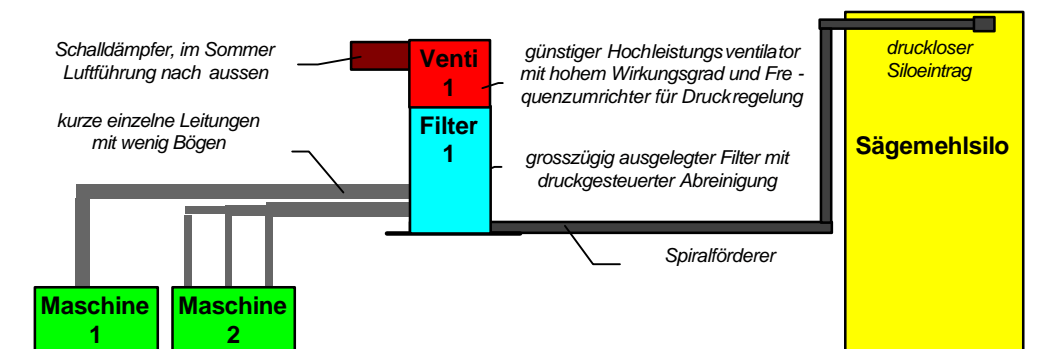
Neue Absauganlage

Gute Neuanlagen könnten ohne grosse Mehrkosten weniger als die Hälfte des Energieverbrauchs von üblichen pneumatische Entsorgungen ausweisen. Voraussetzung ist eine seriöse Abklärung der Anforderungen: Bestimmung der Absaugmengen am besten durch Ausmessen an den bestehenden Maschinen (suche des Minimums für den optimalen Betrieb). Konzept für die Trennung der Holzabfälle (Rinde, Sägemehl, Späne ...), eventuell Aufteilung auf mehrere Entsorgungsanlagen ...



In den meisten holzverarbeitenden Betrieben wurden Absauganlagen mit langen widerstandsreichen Rohrleitungen, grossen schweren Ventilatoren, mehreren Filtern und mit Staubaustritt aus dem Silo angetroffen.

Optimierte Absauganlage



Eine optimierte Absauganlage ist nicht viel teurer als eine konventionelle, benötigt aber viel weniger Energie und hat kurze gerade Rohrleitungen, einen geregelten Hochleistungsventilator über dem Filter und einen Spiralförderer für den Spänetransport ins Silo.

Anlagenkonzept

Ausgehend von der Aufgabe, nur soviel Luft anzusaugen, wie gerade benötigt wird, ist das Rohrleitungsnetz so dimensioniert, dass der nominale Druckverlust von allen Maschinen bis zur Absaugung gleich gering ist. Damit die Fördergeschwindigkeit in den Rohrleitungen erhalten bleibt, werden diese wo notwendig als Einzelleitung geführt. Die Ventilator Drehzahl wird so geregelt, dass beim Sammelpunkt der Absauganlage der eingestellte Unterdruck konstant ist. Jetzt muss nur noch dafür gesorgt werden, dass die Schieber der Maschinen bedarfsgerecht geöffnet und geschlossen werden. Die pneumatisch oder besser elektrisch



betätigten Schieber können zum Beispiel über den Vorschub oder den Laststrom der Bearbeitungsachsen angesteuert werden.

Absaugventilator



Üblicherweise wird ein Transportventilator eingesetzt, welcher zwischen Absaugstelle und Filter angeordnet ist. Wegen der mit Holzabfällen durchmischten Luft muss dieser Ventilator robust gebaut sein und auf strömungstechnische Feinheiten muss verzichtet werden. Solche Ventilatoren sind teuer und haben einen Wirkungsgrad unter 50%. Hochleistungs-Radialventilatoren sind günstiger und haben Wirkungsgrade von über 80%, sie vertragen aber keine Partikel in der Luft. Aus diesem Grund wird der sowieso notwendige Filter dazwischen geschaltet.

Filteranlage

Durch die gesamthaft geringere Luftmenge ist die Belastung des auf Unterdruck ausgelegten Filters viel geringer. Der Befehl für die Filterabreinigung erfolgt über den Anstieg des Differenzdruckes bei zum Beispiel 250 Pascal. Die abgeschiedenen Holzabfälle werden direkt mit einem Spiralförderer aus dem Filter drucklos ins Silo transportiert.

Antriebstechnik

Druckluft

Druckluft ist ein teurer Energieträger, der Kubikmeter kostet etwa gleichviel wie eine kWh Strom. Je höher der Nenndruck ist, desto grösser ist die benötigte Energie und der Kompressorverschleiss, auch die Verluste durch Lecks nehmen überproportional zu. Aus diesem Grund ist der Solldruck möglichst tief einzustellen. Wenn nur einige Aggregate mehr Druck brauchen, so können diese vielleicht umgebaut werden (grösserer Zylinder). Auch ein Druckerhöhungsgerät oder ein eigener kleiner Kompressor kann sich lohnen.



Für Betriebe mit nur gelegentlichem Druckluftbedarf ist der *Kolbenkompressor* die richtige Wahl. Wenn dauernd viel Druckluft benötigt wird, ist ein richtig dimensionierter *Schraubenkompressor* einzusetzen. Zwei sich ergänzende Kompressoren sind besser als ein grosser, welcher die meiste Zeit im Leerlauf vor sich hin heizt.

Mit ausreichend dimensionierten Druckluftbehältern, vorzugsweise in der Nähe der Grossverbraucher, können der Wirkungsgrad und die Lebensdauer der Druckluftanlage verbessert werden. Das gilt auch für Schraubenkompressoren, die leider oft ohne Speicher installiert werden. Am Aufstellungsort der Kompressoren sollte für saubere und kühle Ansaugluft gesorgt werden. Die Kompressorabwärme kann als lokale Wärmequelle dienen (Führerstand ...).

Ausserhalb der Arbeitszeit sollten der *Kompressor* und der *Kältetrockner* abgestellt werden. Dazu ist auch der Ausgang am Windkessel zu verschliessen, damit die durch Lecks ausströmende Luft nicht das Leistungssystem anfeuchtet. Der Kältetrockner ist etwa eine halbe Stunde vor dem Arbeitsbeginn einzuschalten (Wochenschaltuhr) damit er auf Betriebskälte ist, wenn wieder Druckluft benötigt wird.

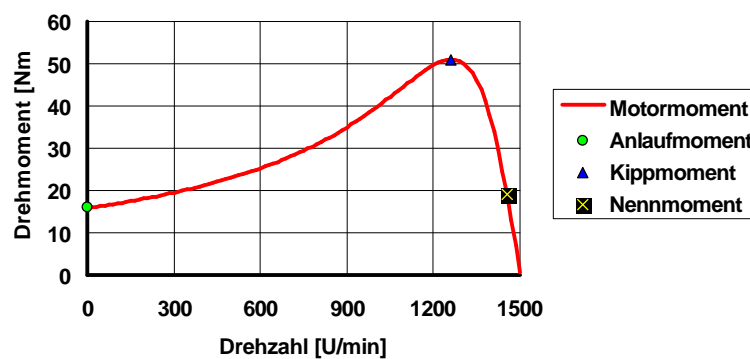
Auch in der kalten Jahreszeit muss die Druckluft trocken sein, damit Ventile und Zylinder welche dem Aussenklima ausgesetzt sind, nicht vereisen. Bei geringem Druckluftbedarf im Aussenbereich kann die Anschaffung eines energie-ineffizienten Adsorptionstrockners vermieden werden: im Strang nach draussen kann an einer kalten Stelle ein Windkessel installiert werden, in welchem sich die Feuchtigkeit sammelt. Bei grösserem Druckluftbedarf kann wenigstens für die Zeit mit Aussentemperaturen über Null Grad ein energie-effizienter Kältetrockner eingesetzt werden.

Für die regelmässige Überprüfung des Zustandes der Druckluftanlage wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

- Alle Maschinen und Kompressoren abgeschaltet; Druck auf 7 bar; Zeit stoppen, bis der Druck auf 4 bar abfällt; Wert in Tabelle im Kompressorraum eintragen; Wenn die Zeit bei der nächsten Messung kürzer wird, Lecks im Druckluftnetz stopfen.
- Ausgang am Windkessel geschlossen; Druck auf 4 bar; Kompressor (1 oder 2) einschalten; Zeit stoppen, bis der Druck 7 bar erreicht; Wert in Tabelle notieren; Wenn die Zeit länger wird, ist am Kompressor ein Service fällig.

Asynchronmotor

Der Asynchronmotor ist der am häufigsten eingesetzte Industriemotor. Er ist günstig, robust und kann selber am Stromnetz anlaufen. Der Asynchronmotor hat seinen Namen von der Tatsache, dass er sich nicht synchron mit der Netzfrequenz, sondern etwas langsamer dreht. Je grösser dieser Schlupf wird, desto grösser ist sein Drehmoment, bis es hinter dem Kippmoment wieder abnimmt und der Motorschutz ausgelöst wird.



Kennlinie eines 4-poligen Asynchronmotors mit 3 kW Nennleistung.

Im Betriebspunkt gibt der Asynchronmotor bei seiner Nenndrehzahl seine Nennleistung ab. Diese Daten sind auf dem Typenschild zu finden. Der 2-polige Asynchronmotor erreicht am Stromnetz die höchste Drehzahl mit knapp 3000 U/min. Für höhere Drehzahlen ist entweder ein Getriebe, ein Frequenzumformer oder ein Gleichstromantrieb erforderlich. Je höher die Polzahl ist, desto tiefer ist die Nenndrehzahl. Bei 6-, 8- und mehrpoligen Ausführungen wird der Motor für die gleiche Leistung grösser und teurer.

Je höher die Motorleistung ist, desto besser wird der Wirkungsgrad. Bei Antrieben mit hoher Laufzeit (Ventilatormotoren in der Trockenkammer, Umwälzpumpenmotor ...) lohnt sich die Auswahl nach dem Wirkungsgrad. Sogenannte "Energiesparmotoren" sind nicht viel teurer als Standardmotoren, die technischen Daten der Anbieter sind aber jeweils zu überprüfen, denn in

einer Typenreihe kann es vorkommen, dass ein Energiesparmotor schlechter als ein guter Standardmotor ist. (Siehe untenstehende Tabelle).

4-polig Nennleistung	Standardmotor		Energiesparmotor	
	Nenndrehzahl	Wirkungsgrad	Nenndrehzahl	Wirkungsgrad
1,5 kW	1405 U/min	82,0 %	1385 U/min	80,1 %
3 kW	1415 U/min	81,0 %	1410 U/min	84,1 %
7,5 kW	1450 U/min	87,0 %	1465 U/min	90,1 %
15 kW	1455 U/min	89,0 %	1460 U/min	92,0 %
37 kW	1475 U/min	92,5 %	1470 U/min	94,2 %
75 kW	1480 U/min	94,5 %	1475 U/min	95,2 %

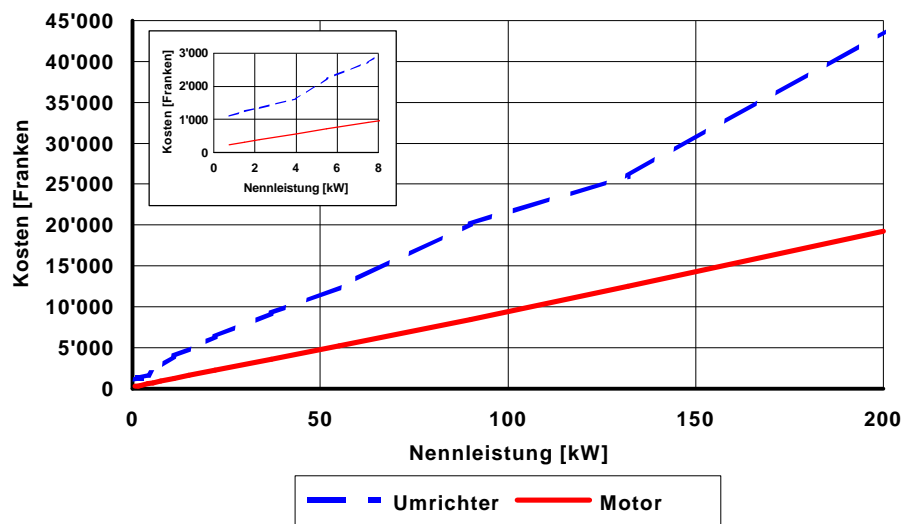
Auszug aus den technischen Daten von zwei bekannten Motorenlieferanten. Zu beachten: der 1,5 kW Standardmotor ist bei diesem Vergleich besser als der Energiesparmotor.

Beispiel Wirtschaftlichkeit:

Der 15 kW Absaugventilator mit 1800 Betriebsstunden benötigt mit dem 1500 Franken teuren Standardmotor 30'340 kWh Strom pro Jahr, mit dem Energiesparmotor nur 29'350 kWh. Die Differenz von knapp 1000 kWh kostet rund 200 Franken Strom, etwa der Mehrpreis des Energiesparmotors. Während der Lebensdauer ergibt das einige Tausend Franken Einsparung.

Frequenzumrichter

Mit einem Frequenzumrichter kann der Asynchronmotor auch mit anderen Frequenzen als der Netzfrequenz von 50 Hz gespeist werden. Über Tasten, ein Potentiometer oder von einer Steuerung kann die Drehzahl von etwa 5% bis auf über 100% der Nenndrehzahl eingestellt werden. Bei Antriebsaufgaben mit lange andauernden tiefen Drehzahlen und hohem Drehmoment (zum Beispiel Kratzförderer) muss ein *oberflächengekühlter oder fremdbelüfteter Motor* eingesetzt werden. Der eingebaute Lüfter eines Standardmotors würde bei den tiefen Drehzahlen zu wenig Wärme abführen. Bei Ventilatorantrieben sind tiefe Drehzahlen kein Problem, weil dort kein hohes Moment gefordert wird.



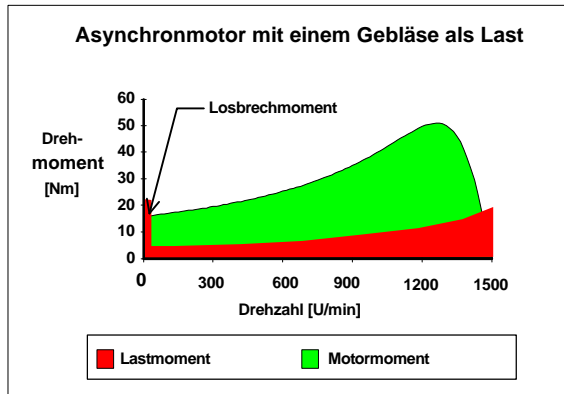
Richtpreise von Asynchronmotoren und Frequenzumrichter.

Der Preis eines Motors hängt von seiner Grösse und somit vom Nenndrehmoment ab. Die Drehmomentanpassung an die Last ist mit einem Getriebe meistens günstiger als mit einem grossen Motor. Ein Getriebe hat ein Reibungsmoment, welches von der übertragenen Leistung

wenig abhängig ist. Der Wirkungsgrad eines Motors oder eines Getriebes bezieht sich auf die Nennleistung. Im Teillastbereich oder bei tieferen Drehzahlen ist der Wirkungsgrad schlechter.

Anlaufverhalten

Bei Arbeitsmaschinen mit langsamen Drehzahländerungen gilt die Bedingung, dass über den



Ein hohes Losbrechmoment kann den Motor blockieren.

ganzen Drehzahlbereich das Lastmoment nicht grösser als das Antriebsmoment sein darf. Wenn das Losbrechmoment (die Haftreibung) nicht grösser als das Anlaufmoment ist, sind keine Anlaufschwierigkeiten zu erwarten.

Bei hohen Lastmomenten im Bereich des Motoranlaufmomentes nützt bei Asynchronmotoren ein Sanftanlaufgerät nicht viel, denn der Motor beschleunigt erst, wenn er genug Spannung hat, um das Losbrechmoment zu überwinden. Mit einem modernen Frequenzumrichter steht aber schon beim Start ein hohes Drehmoment zur Verfügung.

Schaltspiele

Ein Asynchronmotor, der direkt oder mit einem Softstarter ans Netz geschaltet wird, erhitzt sich beim Hochfahren mit der Energie, welche der Rotationsenergie des Rotors und der Last entspricht. In den Datenblättern von Standardmotoren ist die zulässige Anzahl Leerumschaltungen pro Stunde angegeben, verschiedene Lieferanten verfügen auch über entsprechende Dimensionierungsprogramme. Kleine Asynchronmotoren können viel mehr Schaltungen (einige pro Sekunde) als grosse (einige pro Stunde) verkraften. Beim Betrieb mit einem Frequenzumrichter hat der Motor einen beschränkten Schlupf und kann viel häufiger geschaltet werden.

Bei Pausen abschalten rentiert:

Das Abschalten einer Maschine lohnt sich, wenn die Pause grösser als die 5-fache Hochlaufzeit ist. Wenn eine Besäummaschine innerhalb von 2 Sekunden auf Touren ist, lohnt sich das Abschalten bei einer Pause ab 10 Sekunden. Der Anlaufstrom wirkt sich nicht auf die vom EW verrechnete Spitzenleistung aus (Mittelwert während 15 Minuten).

Sparschaltungen

Asynchronmotoren, welche oft ohne Last laufen, können in dieser Zeit auch in der Sternschaltung betrieben werden. Durch die tiefere Klemmenspannung sind die Motorenverluste um etwa 30% kleiner. Es gibt auch sogenannte "Energy-Saver" welche im Teillastbereich mit einem Phasenanschnittgerät die Spannung reduzieren. Die Investitionen werden nur in besonderen Fällen durch die Energieeinsparung bezahlt. Oft ist der Ersatz des schlecht dimensionierten Motors die günstigere Lösung.

Getriebe

Antriebskomponenten mit einer hohen Laufzeit sollten mit energie-effizienten Getriebetypen ausgerüstet sein. Als besonders schlecht sind die in der Anschaffung günstigen Schneckengetriebe zu erwähnen, welche im Kilowattbereich mehr als die Hälfte der aufgenommenen Leistung verheizen.

Anhang

Verbrauchszielwerte

Anlage	Produktion		Leerlauf	
	Durchschnitt	Zielwert	Durchschnitt	Zielwert
Sortierwagen ohne Kappsäge	5 - 20 fm/h	20 fm/h	6 - 15 kW	4 kW
Sortierwagen mit Kappsäge	5 - 14 fm/h	14 fm/h	6 - 17 kW	4 kW
Gatteranlage (für 2 Schnitte) *	4 - 7 fm/h	8 fm/h	10 - 30 kW	8 kW
Blockbandanlage *	1 - 5 fm/h	4 fm/h	7 - 30 kW	6 kW
Besäumanlage *			4 - 10 kW	3 kW
Entsorgung mit Hacker			4 - 22 kW	3 kW
Hobelmaschine			5 - 6 kW	3 kW

* inklusive Mechanisierung

Anlage	Durchschnitt	Zielwert
Absauganlage	1,2 kW / 1000 m ³ /h	0,8 kW / 1000 m ³ /h
Trockenkammer für Fichte	50 - 240 W/m ³	100 W/m ³

Provisorische Verbrauchszielwerte für Maschinen und Anlagen in Sägereien.

Die hier angegebenen Zielwerte basieren auf der Grobanalyse der 15 untersuchten Betriebe und sind somit provisorisch. Die dem aktuellen Stand der Technik angepassten Werte sind beim SHIV (Schweizerischer Sägerei- und Holzindustrie-Verband, Mottastrasse 9, 3000 Bern 6) erhältlich.

Faxgeräte im Stand-by	7 W
Drucker je nach Typ	2 bis 10 W
Kopierer «Aus»	2 W
Kopierer «Stand-by»	27 W + 3,23 W * Kopien/min
PC «Aus»	25 W
PC «Ruhezustand»	5 W
Bildschirme im Ruhezustand	8 W

Verbrauchszielwerte 1996 für Bürogeräte (Energie 2000).

Kontaktadresse für Bürogeräte: Konsumentinnenforum Schweiz, Rämistrasse 39, 8024 Zürich

Energie-ERFA

Die Mitglieder der Energie-ERFA des Schweizerischen Sägerei- und Holzindustrieverbandes haben die vorliegende Dokumentation mit vielen praktischen Hinweisen bereichert. Am meisten Anklang fanden folgende drei Energiesparmassnahmen:



1. Abschalten von leerlaufenden Maschinen.
2. Ventilatorzahl in den Trockenkammern reduzieren.
3. Optimierung der pneumatischen Förderung oder Ersatz durch effizientere Systeme (Spiralförderer).

Name	Vorname	Firma	Strasse	PLZ	Ort
Brühwiler	Damian	Fritz Berger AG	Via della Resga 48	7403	Rhäzüns
Corbat	Patrick	A + C Corbat SA	Scierie	2943	Vendlincourt
Flütsch	Konrad	Konrad Flütsch AG	Sägenstrasse	7302	Landquart
Frischknecht	Otto	Rudolf AG	Bäriswilerstrasse 3	2545	Selzach
Gautschi	Hanspeter	SHIV Abt. Betriebswirtschaft	Alte Obfelderstrasse 26	8910	Affoltern a.A.
Gloor	Rolf	Gloor Engineering		7434	Sufers
Graber	Walter	Walter Graber AG	Kobelwies	9463	Oberriet
Hochuli	Werner	HOAG Holzoptimierung AG		5056	Attelwil
Jordi	Andreas	E. Jordi AG	Hauptstrasse 27	2556	Schwadernau
Keller	Martin	Konrad Keller AG	Beim Bahnhof	8476	Unterstammheim
Kernen	Gerhard	Kernen AG	Speichermatte	3647	Reutigen
Lerch	Andreas	Gebr. Lerch	Bahnhofplatz	3452	Günenmatt
Röthenmund	Alfred	Röthenmund AG	Schärischachen	3550	Langnau i.E.
Schmidiger	Franz	Schmidiger AG	Hüttlenen	6173	Flühli
Siegenthaler	Werner	Sägerei und Holzhandlung	Mühlebachstrasse 8	9534	Gähwil
Stähli	Gottfried	Gottfried Stähli	Unterdorfstrasse 52	5612	Villmergen

Mitgliederliste der Energie-ERFA des SHIV.

Lieferanten von Kompensationsanlagen und Messgeräten

Blindstrom-Kompensationsanlagen

Firma	Strasse	PLZ	Ort
Bieri Elektrotechnik	Gewerbestrasse 8	3532	Zäziwil
Detron AG	Zürcherstrasse 25	4332	Stein
Donner + Pfister AG	Kirchweg 5	8855	Nuolen
Elbo AG	Gartenstrasse 10	3125	Toffen
Haussener Hans AG		3148	Lanzenhäusern
Schalttafelbau Lüscher AG	Saigut 9	5036	Oberentfelden
Werder+Partner Elektrotechnik		3122	Kehrsatz
Condis SA		1728	Rossens
Micafil	Badenerstrasse 780	8048	Zürich
MPA Engineering AG	Friedackerstrasse 7	8050	Zürich
TECONTRA	Sonnenbergstrasse 4B	8645	Jona
XAMAX AG	Birchstrasse 210	8050	Zürich

Spitzenleistungsoptimierung

Firma	Strasse	PLZ	Ort
Arn Energie-Optimierung AG	Industriestrasse 28	8304	Wallisellen
Camille Bauer AG	Glattalstrasse 63	8052	Zürich
Carl Geisser + Co	Industriestrasse 7	8117	Fällanden
Condis SA		1728	Rossens
elcomel sa	Rue du Lac 126bis	1815	Clarens/Montreux
Landis & Gyr	Gubelstrasse	6301	Zug
LEM Elmes AG	Bahnhofstrasse 15	8808	Pfäffikon
Micafil	Badenerstrasse 780	8048	Zürich
MPA Engineering AG	Friedackerstrasse 7	8050	Zürich
Optimax AG	Gewerbezentrum Strahlholz	9056	Gais
Rauscher & Stöcklin		4450	Sissach
Sefag AG	Werkstrasse 7	6102	Malters
TECONTRA	Sonnenbergstrasse 4B	8645	Jona
XAMAX AG	Birchstrasse 210	8050	Zürich

Wärmezähler

Firma	Strasse	PLZ	Ort
Aquametro AG	Ringstrasse 39	4106	Therwil
ATA Wärmezähler AG	Zollikerstrasse 27	8032	Zürich
Balduin Weisser AG	Burgfeldstrasse 211	4025	Basel
GWF Gas & Wassermessfabrik AG	Obergrundstrasse 119	6002	Luzern
ISS Clorius Güntert AG	Riedtalstrasse 22	4800	Zofingen
Landis & Gyr	Gubelstrasse	6301	Zug
Neo Vac Wärmemess AG	Steinackerstrasse 10	8902	Urdorf
Gebrüder Tobler AG	Eichausstrasse 1	9463	Oberriet

Literaturhinweise

Allgemein über Energie-Effizienz

- [1] Kompetent antworten auf Energiefragen, Nr. 724.386.1d, BfK und INFEL 1994
- [2] Power Box, der Energie-Workshop in 10 Lektionen, vdf 1995
- [3] Praktischer Leitfaden für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Nr. 724.397.42.01 d, RAVEL/BfK, 1992
- [4] Bestellfaktor Strom, Nr. 724.304.0 d, RAVEL/BfK, 1996

Lüftung, Druckluft und Licht

- [1] Energie-effiziente Lüftungstechnische Anlagen, Nr. 724.307 d, RAVEL/BfK, 1993
- [2] Wirkungsgradoptimierung der Druckluftherzeugung, Nr. 724.397.21.54 d, RAVEL/BfK, 1992
- [3] Zeitgemässe Beleuchtung von Industriebauten, Nr. 724.329.3 d, RAVEL/BfK

Antriebstechnik

- [1] Elektrische Antriebe energie-optimal auslegen und betreiben, Nr. 724.331 d, 1993
- [2] Antriebstechnik im Maschinenbau, Nr. 724.333 d RAVEL/BfK, 1995
- [3] Messen von Betriebsparametern elektrischer Antriebe, Nr. 724.336 d, RAVEL/BfK, 1996

Holzfeuerung, Heizung und Umwälzpumpen

- [1] Energie aus Restholz, Ein Leitfaden für Holzverarbeitende Betriebe, Nr. 724.238 d, PACER/BfK
- [2] Projektieren automatischer Holzfeuerungen, Nr. 724.237 d, PACER/BfK, 1995
- [3] Elektroheizungen, Sanierung und Ersatz, Nr. 724.346 d, RAVEL/BfK, 1992
- [4] Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung, Nr. 724.355 d, RAVEL/BfK, 1993
- [5] Stromsparchance Umwälzpumpe, Nr. 724.330.99 d, RAVEL/BfK
- [6] Umwälzpumpen, Auslegung und Betriebsoptimierung, Nr. 724.330 d, RAVEL/BfK, 1991

Kleinwasserkraftwerke und Blockheizkraftwerke

- [1] Einführung in Bau und Betrieb von Kleinstwasserkraftwerken, PACER/BfK, Nr. 724.244 d
- [2] Nutzen statt Aufgeben, Beurteilungskriterien für Kleinwasserkraftwerke, , Diane/BEW, Nr. 805.173 d
- [3] Pico-Kraftwerke, Wasserkraftwerke mit Eigenleistung bauen, 8 Beispiele, Diane/BEW, Nr. 805.196 d+f
- [4] Weitere Literatur über Kleinwasserkraftwerke von SKAT, Vadianstrasse 42, 9000 St.Gallen
- [5] Wärmekraftkopplung, Gasmotor-Blockheizkraftwerke, Nr. 724.358 d, RAVEL/BfK, 1994

Messen und Steuern

- [1] Erfassung des Energieverbrauchs, Nr. 724.371.0 d, RAVEL/BfK
- [2] Messung von Leistungen und Energien in der Industrie, Nr. 724.377 d, RAVEL/BfK
- [3] Verbrauchsoptimierung mittel Energiekontrollsystemen, Nr. 724.337 d, RAVEL/BfK

Contracting

- [1] Nahwärme - der sinnvolle Schritt in die Zukunft, INFEL 1995
- [2] Tagungsband Contracting, Ö.B.U. 1995