

07.01.2005

Einsparung von elektrischer Energie in einem Sägereibetrieb

Stromeinsparungen in den Bereichen Holzbearbeitung,
Fördertechnik, Holz Trocknung, Absauganlagen, Druck-
luft, Beleuchtung

ausgearbeitet durch

Iso Wyrsh
Wyrsh Technologies
Haltikon 44
CH - 6403 Küssnacht am Rigi
und
Markus Dolder
Ingenieurbüro Dolder
Pelikanstrasse 7
CH - 6004 Luzern

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:

www.electricity-research.ch

Version P1.3

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Zusammenfassung (deutsch)	5
Résumé (français)	7
Abstract (english)	9
Riassunto (italiano)	11
1. Ausgangslage, Vorgehen	13
1.1 Ausgangslage.....	13
1.2 Projektziel.....	13
1.3 Aufgabenstellung.....	13
1.4 Vorgehen.....	13
1.5 Dank an Beteiligte	14
2. Zusammenstellung der Bereiche	15
2.1 Produktionsbereiche.....	15
2.2 Infrastrukturanlagen.....	25
3. Messungen	28
3.1 Messungen an den Druckluftanlagen	28
3.2 Messungen an den Absauganlagen.....	37
3.3 Messungen an der Wärmeerzeugung	41
3.4 Messungen an den Trockenkammern	43
3.5 Messungen an der Aussenhackanlage	46
3.6 Messungen an den Entsorgungsanlagen	48
3.7 Messungen an der Keilzinkenanlage Leimwerk 2	49
3.8 Messungen an der Beleuchtung Leimwerk 1	53
3.9 Messungen am Haupt-Elektrozähler	54
4. Potential und Massnahmen	58
4.1 Druckluft	58
4.2 Absauganlagen.....	66
4.3 Wärmeerzeugung	74
4.4 Heizungsnetz.....	75
4.5 Trockenkammern.....	76
4.6 bedarfsgerechtes, manuelles und automatisches Einschalten von Verbrauchern	78
4.7 Aussenhackanlage	84
4.8 Entsorgung	85
4.9 Keilzinkenanlage Leimwerk 2	86
4.10 Heben und Senken von Lasten	87

4.11	Vermindern von Reibung.....	91
4.12	Prozessoptimierungen.....	93
4.13	Beleuchtung.....	95
4.14	Leistungsoptimierung.....	97
4.15	Blindstromkompensation.....	100
4.16	Kennzahlen als Führungsinstrument.....	101
4.17	Organisatorische und betriebliche Massnahmen.....	101
4.18	Verschiedenes.....	102
4.19	Zusammenfassung der Massnahmen.....	103
5.	Erfolgskontrolle, Nachmessungen.....	106
5.1	Druckluft.....	106
5.2	Absauganlagen.....	111
5.3	Trockenkammern.....	112
6.	Vorgehensweise für die Ermittlung von Daten.....	113
6.1	Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen mit der Behältermethode.....	113
6.2	Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen durch die Einschaltdauermessung.....	113
6.3	Checkliste für die Behebung von Druckluftlecks.....	115
6.4	Ermittlung der Wärmeleistung und des Wärmeenergiebedarfes für die Erwärmung der Ersatzluft von Absauganlagen.....	117
7.	Detaillierte Messresultate und Berechnungen.....	122
7.1	Vereinfachte Ermittlung der Leckluft mittels Behältermethode.....	122
7.2	Vereinfachte Ermittlung der Liefermenge mittels Behältermethode.....	126
7.3	Ermittlung der Liefer- und Leckverlustmengen mit der Gradientenmethode.....	132
8.	Hinweise zum Anlagenbau und zur Auswahl von Komponenten.....	147
8.1	Hinweise für eine bedarfsgerechte FU-regulierte Absaugung.....	147
8.2	Rückführung von Abluft in den Produktionsraum (Umluftbetrieb).....	148
8.3	Hinweise für die Motorauswahl.....	149
9.	Verzeichnisse, Begriffe und Abkürzungen, Übersichten, Schemas.....	154
9.1	Detailliertes Inhaltsverzeichnis.....	154
9.2	Tabellenverzeichnis.....	160
9.3	Abbildungsverzeichnis.....	160
9.4	Literaturverzeichnis.....	163
9.5	Übersichten, Skizzen, Schemas.....	165
9.6	Verwendete Messgeräte.....	169
9.7	Verwendete Software.....	169
9.8	verwendete Abkürzungen.....	171
9.9	Verwendete Begriffe und Fachausdrücke.....	172
9.10	Weiterführende Webseiten.....	175
9.11	Angaben zu den Autoren des Berichtes.....	176
9.12	Verteiler, Änderungs-, Versionsübersicht.....	177

Zusammenfassung (deutsch)

Basierend auf der verarbeiteten Holzmenge und mit Stromverbrauchszahlen hochgerechnet, verbraucht die Sägerei-Branche in der Schweiz jährlich schätzungsweise rund 80 GWh Elektroenergie. Geht man davon aus, dass gemäss verschiedenen Untersuchungsergebnissen mit 10 bis 20 % Stromeinsparung gerechnet werden kann, so besteht in der Branche ein wesentliches Potential für Einsparungen in der Grösse von rund 8 bis 16 GWh pro Jahr. Dieses Potential ergibt sich bei einem Ersatz von Anlagen mit konsequentem Einsatz von energiesparenden Lösungen und Technologien. Um das Potential von 10 bis 20 % Stromeinsparung ausschöpfen zu können, muss mit Amortisationszeiten von ca. 3 bis 10 Jahren gerechnet werden.

Stellvertretend für die Sägerei-Branche wird als Fallbeispiel die Schilliger Holz AG mit einem Stromverbrauch von fast 6 GWh (im Jahre 2001) genauer analysiert. In diesem Bericht werden Energiesparmassnahmen vorgeschlagen, welche wirtschaftliche Amortisationszeiten von ca. 5 Jahren aufweisen. Durch die Realisierung der Massnahmen ergeben sich Einsparungen von ca. 1'000 MWh/a was ca. 17% des Gesamtstromverbrauches der Firma Schilliger entspricht. Die Investitionskosten betragen ca. Fr. 320'000.- die jährliche Einsparung ca. Fr. 120'000.-. Das Mittel der Amortisationszeit aller Massnahmen ist ca. 3 Jahre.

Die Untersuchungen ergaben folgende Erkenntnisse:

In einem Sägereibetrieb laufen viele Elektromotoren, ohne dass der Motor gerade benötigt wird. Diese Leerlaufstunden entstehen produktionsbedingt (z.B. durch Produktionszyklen) oder aus Unachtsamkeit. Mit technischen und vor allem organisatorischen Massnahmen können diese Leerlaufstunden verringert werden.

Ein Motor im Leerlauf benötigt nur einen Bruchteil der Leistung gemäss Typenschild. Anders sieht das aus bei Anlagen wie z.B. Druckluft- oder Absauganlagen. Werden z.B. Absauganlagen betrieben, obwohl keine Späne oder keine Schnitzel anfallen, so wird die gleiche Leistung benötigt, da ja die Luft transportiert wird. Bei dieser Art von Anlagen liegt das grösste Einsparpotential.

Im folgenden werden Punkte aufgelistet, welche einen energieoptimalen Betrieb in einem Sägewerk ergeben. Die Angaben in den eckigen Klammern zeigen die Einsparung pro Jahr bezogen auf die Betrachtungseinheit (z.B. was im Bereich Druckluft bei der Firma Schilliger eingespart werden kann).

- Druckluftherzeugung und Verteilung mit tiefem Druck, geringem Druckabfall, wenig Leckverlusten und Sektorabsperungen [380MWh, 50%, Fr. 40'000.-]
- Druckluftherzeugung bedarfsgerecht und mit gutem Teillastverhalten (ohne Leerlaufzeiten) [100MWh, 15%, Fr. 10'000.-]
- Absauganlagen mit automatischen Absperrklappen bei den Absaugstellen, Ventilator angesteuert mit Frequenzumformer (FU) [291MWh, 49%, Fr. 33'600.-]
- Rückführung der Abluft der Absauganlagen in den Produktionsraum [3.5MWh, nur Elektroenergie, ohne Wärmeenergie]
- Optimierte Wärmeerzeugung und Verteilung (bedarfsgerecht und lastabhängig, z.B. mit variablen Durchflussmengen)
- Einsatz von Frequenzumformern für die Ventilatoren der Trockenkammern [112MWh, 24%, Fr. 12'600.-]
- Ausrüstung der Trockenkammern mit Wärmerückgewinnung für die Abluft und eine gute Wärmedämmung der Kammern
- Bedarfsgerechtes automatisches und manuelles Schalten von Verbrauchern (Motor läuft nur, wenn er gebraucht wird!)

- Vermindern von Reibung bei Förderanlagen (z.B. Förderbänder, Kettenförderer usw.)
- Einsatz von energiesparenden Beleuchtungen
- Spitzenlastoptimierung für die elektrische Leistung
- Installieren und Instandhalten von Blindstromkompensations-Anlagen
- Abwärmenutzung (z.B. von Druckluftkompressoren) zu Heizzwecken (Raumheizung, Warmwasser)
- Sensibilisierte Mitarbeiter und eine Geschäftsleitung, welche das Energiesparen als eines der Geschäftsziele umsetzt und sich des langfristigen finanziellen Nutzens bewusst ist

Résumé (français)

La consommation annuelle de courant électrique de toutes les scieries suisses s'élève à 80 GWh. (Cette estimation base sur la quantité de bois usiné, calculé avec des chiffres de consommation électrique.) En partant de divers résultats de recherche selon lesquels on pourrait économiser entre 10 et 20% de courant, la branche des scieries pourrait faire des économies annuelles de courant de 8 à 16 GWh. Ce potentiel considérable peut être réalisé si l'on emploie d'une manière conséquente des solutions et des technologies économes en énergie lors du renouvellement des installations de production. Pour pouvoir épuiser ce potentiel il faut calculer avec un temps d'amortissement de ca. 3 à 10 ans.

La scierie Schilliger Holz SA est analysée comme modèle pour toute la branche. Cette scierie consomme presque 6 GWh (2001). Pour économiser de l'énergie on propose dans ce rapport des mesures dont le temps d'amortissement économique dure ca. 5 ans. Par la réalisation des mesures proposées on peut faire des économies de ca. 1'000 MWh/a, ce qui correspond à ca. 17% de la consommation totale de courant électrique de l'entreprise Schilliger. Les coûts d'investissement se montent à ca. 320'000.- fr., l'économie annuelle s'élève à ca. 120'000.- fr. Le temps d'amortissement de toutes les mesures est en moyenne de ca. 3 ans.

L'enquête a fourni les connaissances suivantes:

Dans une scierie, beaucoup de moteurs électriques tournent sans que leur force soit toujours utilisée. Ces heures de marche à vide résultent des conditions de production (p. ex. par des cycles de production) ou d'inattention. Les heures de marche à vide peuvent être réduites par des mesures techniques et surtout organisateurs.

Un moteur qui marche à vide a seulement besoin d'une petite partie de la puissance indiquée sur la plaque d'identité. Il en est tout autrement pour des installations d'air comprimé ou d'aspiration. Une installation d'aspiration p. ex. qui est en marche sans qu'elle doive transporter des copeaux ou des rognures consomme la même quantité d'énergie puisqu'elle doit faire passer l'air. Dans le domaine de cette sorte d'installations se trouve le plus grand potentiel d'économie.

La liste suivante énumère les points qui garantissent une exploitation optimale de l'énergie dans une scierie. Les informations entre crochets montrent les économies annuelles par rapport au sujet examiné (p. ex. ce que l'entreprise Schilliger peut économiser dans le domaine de l'air comprimé).

- Production et distribution d'air comprimé avec une basse pression, une petite chute de pression, des débits de fuites minimales et des arrêts de secteurs (380 MWh, 50%, 40'000.- fr.)
- Production d'air comprimé adaptée à la demande et avec un bon comportement de charge partielle. (100 MWh, 15%, 10'000.- fr.)
- Installations d'aspiration avec des clapets d'arrêts automatiques aux endroits nettoyés par le vide, le ventilateur réglé par un convertisseur de fréquences (291 MWh, 49%, 33'600.- fr.)
- Reconduite de l'air sortant des installations d'aspiration dans la salle de production (3.5 MWh, seulement l'énergie électrique, sans l'énergie thermique).
- Production et distribution de chaleur optimales (adaptées à la demande et dépendantes de la charge, p. ex. avec des débits d'eau variables).
- Emploi de convertisseurs de fréquences pour les ventilateurs des chambres de séchage (112 MWh, 24 %, 12'600.- fr.)
- Equipement des chambres de séchage avec une récupération de la chaleur de l'air sortant et une bonne isolation thermique des chambres.
- Régulation automatique et manuelle des récepteurs (le moteur ne tourne que s'il est utilisé!)

- Réduction du frottement des installations de transport (p. ex. convoyeurs à bande, transporteurs à chaînes etc.)
- Installation d'éclairages sobre en énergie.
- Optimisation des charges de pointe pour la puissance électrique.
- Installation et maintien en bon état des installations qui compensent le courant réactif.
- Utilisation de la chaleur perdue (p. ex. des compresseurs d'air comprimé) pour le chauffage (chauffage des salles, eau chaude).
- Des collaborateurs sensibilisés et une direction qui regarde l'économie en énergie comme un des objectifs de l'entreprise et qui se rend parfaitement compte de l'utilité financière à long terme.

Abstract (english)

The annual electricity consumption of the sawmill industry amounts approximately to about 80 GWh in Switzerland, based on the quantity of the processed wood and projected with power consumption numbers.

If one assumes that 10 to 20% current saving can be reckoned in accordance with different test results, then there exists a substantial potential for savings of about 8 to 16 GWh per annum in this industry. This potential arises in case of a replacement of installations with a consistent use of energy-saving solutions and technologies. In order fully exploit the potential of 10 to 20% current saving it must be reckoned with amortization periods of approx. 3 to 10 years.

Representatively of the sawmill industry Schilliger Holz AG is analysed more exactly as a case example having an electricity consumption of almost 6 GWh (in 2001). In this report energy-saving measures are suggested, which show economic amortization periods of approx. 5 years. By realizing these measures savings of approx. 1'000 MWh/a will arise - corresponding to approx. 17% of the total current consumption of Schilliger Holz AG.

The investment costs are approx. CHF 320,000.-, the annual saving approx. CHF 120,000.-. The mean of the amortization period of all measures is approx 3 years.

The investigations resulted in the following findings:

Many electric motors are left running in a sawmill even while not being needed/used. These idle running hours arise from the production conditions (e.g. production cycles) or from inattention to machine operation requirements. These idle hours can be reduced by technical and primarily by organizational measures.

An electric motor in no-load operation needs only a fraction of the power indicated on the rating plate. The situation is completely different in case of suction-air or compressed-air plants. When e.g. suction-air plants are operated under no load conditions air is still transported whereby even in the absence of chips or shavings the same power is needed by the motor. The greatest reduction potential occurs with these kinds of plant.

The following lists factors, which yield an energy optimal operation in a sawmill. The data in the square brackets show the saving per year related to the appropriate unit (e.g. what can be saved in the field of the compressed air for Schilliger Holz AG).

- Production and distribution of compressed air with low pressure, low-pressure drop, few leakages and with shutting-off of sectors in the distribution system [380 MWh, 50%, CHF 40,000.-]
- Production of compressed air meeting demand and with good part-load behaviour (without no-load running periods) [100 MWh, 15%, CHF 10,000.-]
- Suction-air systems equipped with automate shut-off valves at the suction places, fans driven by frequency convertor [291 MWh, 49%, CHF 33,600.-]
- Feedback of the output air of the suction-air systems into the production room [3.5 MWh, only electric energy without heat energy]
- Optimized heat production and distribution (meeting the demand and load dependent, e.g. with quantities of water)
- Use of frequency convertors for the fans of the drying chambers [112MWh, 24%, CHF 12,600.-]
- Equipping the drying chamber with heat recovery/regeneration for the output air and adopting good thermal insulation of the chambers.
- Automatic or manual switching of power consuming devices in order to meet demand (motor is only running when it is used!)

- Decrease of friction at conveyors (e.g. conveying belts, conveyor chains etc.)
- Use of energy-saving lightings
- Peak load optimization for the electrical power
- Installing and maintaining of reactive current compensators
- Use of waste heat (e.g. from air compressors) for heating purposes (room heating, hot-water)
- Instructing employees, incorporating energy-saving as one of the business aims and ensure that management and staff are aware of the long-term financial benefit of energy-saving.

Riassunto (italiano)

Considerando la quantità di legname lavorato e sulla base delle cifre relative al consumo, si stima che in Svizzera il consumo annuo di corrente elettrica nel settore delle segherie si aggiri sugli 80 GWh circa. Se si parte dal presupposto che, come emerge dai risultati di diversi studi, sono possibili risparmi di elettricità del 10-20%, nel settore in questione sussisterebbe un potenziale di risparmio considerevole, oscillante fra gli 8 e i 16 GWh all'anno. Tale potenziale si raggiungerebbe con una sostituzione degli impianti e un impiego coerente di soluzioni e tecnologie a basso consumo energetico. Per poter sfruttare appieno il potenziale di risparmio del 10-20% occorre calcolare un periodo di ammortamento tra i 3 e i 10 anni.

In rappresentanza del settore delle segherie e quale esempio concreto, nel presente studio viene analizzata in dettaglio la ditta Schilliger Holz AG che, nel 2001, ha registrato un consumo di corrente elettrica pari a quasi 6 GWh. Nello studio sono proposte misure di risparmio energetico con un periodo di ammortamento economico di circa 5 anni. La realizzazione delle misure permetterebbe risparmi dell'ordine di circa 1'000 MWh/a, pari al 17% circa del consumo totale di energia elettrica della ditta Schilliger. I costi d'investimento ammonterebbero a 320'000.- franchi annui circa, mentre ogni anno il risparmio ottenuto si situerebbe sui 120'000.- franchi. Il periodo di ammortamento di tutte le misure sarebbe in media di circa 3 anni.

Dallo studio è emerso quanto segue:

In una segheria sono accesi contemporaneamente diversi motori elettrici senza che in quel momento un determinato macchinario sia davvero necessario. Queste ore di funzionamento a vuoto possono essere legate alla produzione (p. es. ai cicli di produzione) oppure essere frutto di negligenza. Mediante accorgimenti di tipo tecnico, ma soprattutto organizzativo, è possibile ridurre questo fenomeno.

Un motore che funziona a vuoto necessita solamente di una frazione della potenza indicata sulla targhetta del modello. Tutt'altra cosa, invece, per gli impianti come quelli ad aria compressa o di aspirazione. Nel caso dell'impiego di un impianto di aspirazione, ad esempio, anche se non si producono trucioli o altri pezzetti di legno la potenza necessaria è sempre la stessa poiché l'aria viene trasportata. Il maggiore potenziale di risparmio si trova pertanto in questo tipo d'impianti.

Qui di seguito sono elencati i fattori che permettono un esercizio ottimale sotto il profilo energetico dei macchinari di una segheria. I dati riportati nelle parentesi quadre mostrano il risparmio annuo in rapporto all'unità considerata (p. es. ciò che può essere risparmiato dalla ditta Schilliger nel settore dell'aria compressa).

- Generazione di aria compressa e distribuzione a bassa pressione, con caduta di pressione minima, poche perdite e chiusure di sezioni [380 MWh, 50%, 40'000.- franchi].
- Generazione di aria compressa secondo il fabbisogno e con buon funzionamento in caso di carico parziale (senza funzionamento a vuoto) [100 MWh, 15%, 10'000.- franchi].
- Impianti di aspirazione con valvole di chiusura automatiche sui punti di aspirazione, ventilatore con convertitore di frequenza [291 MWh, 49%, 33'600.- franchi].
- Recupero dell'aria di scarico evacuata dagli impianti di aspirazione nella zona di produzione [3,5 MWh, solo energia elettrica, senza energia termica].
- Produzione e distribuzione ottimale del calore (conforme al fabbisogno e al carico, p. es. con quantità d'acqua variabili).
- Impiego di convertitori di frequenza per i ventilatori delle camere di essiccazione [112 MWh, 24%, 12'600.- franchi].

- Equipaggiamento delle camere di essiccazione con sistemi di recupero del calore per l'aria di scarico e con un buon isolamento termico.
- Dispositivi per l'azionamento automatico e manuale conforme al fabbisogno dell'utenza (il motore è acceso soltanto quando viene utilizzato).
- Diminuzione dell'attrito sui nastri trasportatori (p. es. tappeti mobili, paranchi a catena, ecc.).
- Scelta di sistema d'illuminazione a basso consumo energetico.
- Ottimizzazione del carico di punta per la potenza elettrica.
- Installazione e manutenzione di impianti di compensazione della corrente reattiva.
- Recupero del calore residuo (p. es. di compressori) a scopo di riscaldamento (riscaldamento dei locali, acqua calda).
- Sensibilizzazione dei collaboratori e della direzione aziendale affinché il risparmio energetico venga concretizzato come uno degli obiettivi aziendali e affinché l'azienda prenda coscienza dei vantaggi finanziari che ne derivano a lungo termine.

1. Ausgangslage, Vorgehen

1.1 Ausgangslage

Basierend auf der verarbeiteten Holzmenge und mit Verbrauchszahlen hochgerechnet, liegt der jährliche Stromverbrauch der Sägerei-Branche in der Schweiz schätzungsweise bei rund 80 GWh. Geht man davon aus, dass gemäss verschiedenen Untersuchungsergebnissen mit 10 bis 20 % Stromeinsparung gerechnet werden kann, so besteht in der Branche ein wesentliches Potential für Einsparungen in der Grösse von rund 8 bis 16 GWh pro Jahr.

1.2 Projektziel

Stellvertretend für die Sägerei-Branche wird als Fallbeispiel die Schilliger Holz AG mit einem Stromverbrauch von fast 6 GWh (im Jahre 2001) genauer analysiert.

Das Ziel des Projekts besteht darin, den Stromverbrauch zu messen und zu analysieren (Phase 1) und darauf basierend Vorschläge zur Energieeinsparung auszuarbeiten (Phase 2).

Nach der Realisierung von wirtschaftlich sinnvollen Massnahmen im untersuchten Sägewerk (Phase 3) kann deren Erfolg durch erneute Messungen überprüft werden (Phase 4).

Durch die Ähnlichkeit der verschiedenen Sägereibetriebe (grösstenteils gleiche Verarbeitungsmethoden, gleiche Maschinen usw.) können daraus auch Vorschläge für die gesamte Sägerei-Branche abgeleitet werden.

1.3 Aufgabenstellung

Messen und Beurteilen des Elektrizitätsbedarfes von einzelnen Anlagen und des gesamten Werkes. Beurteilung der Anlagen in bezug auf den Elektrizitätsbedarf. Ausarbeiten von Vorschlägen für das Einsparen von Elektroenergie.

1.4 Vorgehen

Nach ersten Begehungen für einen Überblick über die Produktionsbereiche und Anlagen werden geeignete Messmethoden festgelegt. Dabei wird darauf geachtet, dass Investitionen in Messelemente dem Betrieb für Anlagenoptimierungen erhalten bleiben. Nach den Messungen werden diese ausgewertet und beurteilt. Auf Grund der Beurteilung werden Massnahmen formuliert und vorgeschlagen. Nach Umsetzung der Massnahmen werden Messungen für die Erfolgskontrolle durchgeführt.

1.5 Dank an Beteiligte

Das Projekt konnte nur durchgeführt werden dank der Offenheit von Herr Ernest Schilliger. Er und auch seine Mitarbeiter hatten sich neben dem "Tagesgeschäft" auch noch mit diesem Energiesparprojekt zu befassen. Vor allem bei Klärungen war dies nicht immer ganz einfach. Einen besonderen Dank geht an Herr Hans Schorno, Chef Unterhalt der Firma Schilliger. Mit grossem Engagement und einer wertvolle Praxiserfahrung im Betrieb hat er viel zum Gelingen des Projektes beigetragen. Ebenso auch die Mitarbeiter Peter Jablonkay, Patrick Baumann, Beat Schilliger, Josef Schleiss, Werni Züti, Vladimir Slama sowie das Sekretariat.

2. Zusammenstellung der Bereiche

In den folgenden Kapiteln sind die verschiedenen Produktions- und Infrastrukturbereiche zusammenstellt, mit Stichworten kurz beschrieben und dazu einige Kennwerte angegeben. Eine schematische Übersicht ist im Kapitel "Übersichten, Skizzen, Schemas" als Skizze eingefügt. Gemeinsame Anlagen für mehrere Produktionsbereiche (z.B. Absauganlagen, Druckluftproduktion oder Wärmeerzeugung) werden hier als Infrastrukturanlagen bezeichnet.

2.1 Produktionsbereiche

2.1.1 Rundholzplatz

2.1.1.1 Rundholzplatz 1 mit Anlieferung

Das Holz wird mit Strassenfahrzeugen angeliefert. Der Ablad erfolgt in der Regel mit dem Kran des Strassenfahrzeuges. Die Stämme werden anschliessend für die Verrechnung vermessen und sortiert. Auf dem Rundholzplatz 1 wird Starkholz gelagert. Dieser Platz ist im Areal der Untere. Im Durchschnitt werden von der Krananlage Lasten gehoben, welche 80-85 % der Nennlast betragen (Abschätzung des Betreibers).

Verbraucher: verschiedene Motoren für die Förderung, Leistung ca. 7.5 kW pro Motor
Kreissäge, Leistung ca. 37 kW (nur Hauptantrieb)
Krananlagen mit 5 Tonnen Nutzlast.

Betriebszeit: ca. 7h im Winter, ca. 8h im Sommer

2.1.1.2 Rundholzplatz 2 mit Anlieferung

Anlieferung des Holzes mit Strassenfahrzeugen. Der Ablad erfolgt in der Regel mit dem Kran des Strassenfahrzeuges. Die Stämme werden anschliessend für die Verrechnung vermessen und sortiert. Auf dem Rundholzplatz 2 wird Schwachholz gelagert. Dieser Platz ist im Areal der Obere. Schwachholz wird weiterverarbeitet für Leisten usw. Im Durchschnitt werden von der Krananlage Lasten gehoben, welche 80-85 % der Nennlast betragen.

Verbraucher: verschiedene Motoren für die Förderung, Leistung ca. 7.5 kW pro Motor
Kreissäge, Leistung ca. 45 kW (nur Hauptantrieb)
Antriebe für Sortierzug: 26 / 33 kW
Krananlagen mit 10 Tonnen Nutzlast Fabrikat KSK
Kranfahrt 4x19 kW, Katzfahrt 2x 9.5 kW, Hubwinde 55 kW

Betriebszeit: ca. 7h im Winter, ca. 8h im Sommer



Abbildung 2.1: Rundholzplatz 2 mit Anlieferung. Hauptantrieb Kreissäge Leistung 45 kW. Das grüne Band ist der Sortierzug. Vom Sortierzug gelangen die Stämme in die Sortierboxen. Antriebe für Sortierzug: 26 / 33 kW.



Abbildung 2.2: Rundholzplatz 1. Kreissäge bei Anlieferung. Hauptantrieb Kreissäge 37 kW.



Abbildung 2.3: Maschinist bei Anlieferung Rundholzplatz 1. Je nach Maschinist werden die Maschinen bei Nichtgebrauch konsequent abgestellt oder nicht.

2.1.2 Entrindungsanlagen

2.1.2.1 Link-Entrinder

Entrinder (Fabrikat Link) für Starkholz. Von dieser Entrindungsanlage (ER75) gelangt das entrindete Holz ins Sägewerk. Vom Link-Entrinder in die Vollgatteranlage.

Verbraucher: Leistung Entrindungsanlage: 55 kW, dazu Förderanlagen
Betriebszeit: ca. 9 h pro Werktag

2.1.2.2 Valancone-Entrinder

Entrinder (Fabrikat Valancone) für Schwachholz. Von dieser Entrindungsanlage (VK 600) gelangt das entrindete Holz ins Sägewerk. Vom Valancone-Entrinder in die Profilerspanneranlage.

Verbraucher: Leistung Entrindungsanlage 75 kW, 3 Stk Walzenpaare à 10 kW, dazu weitere Förderanlagen
Betriebszeit: ca. 9 h pro Werktag

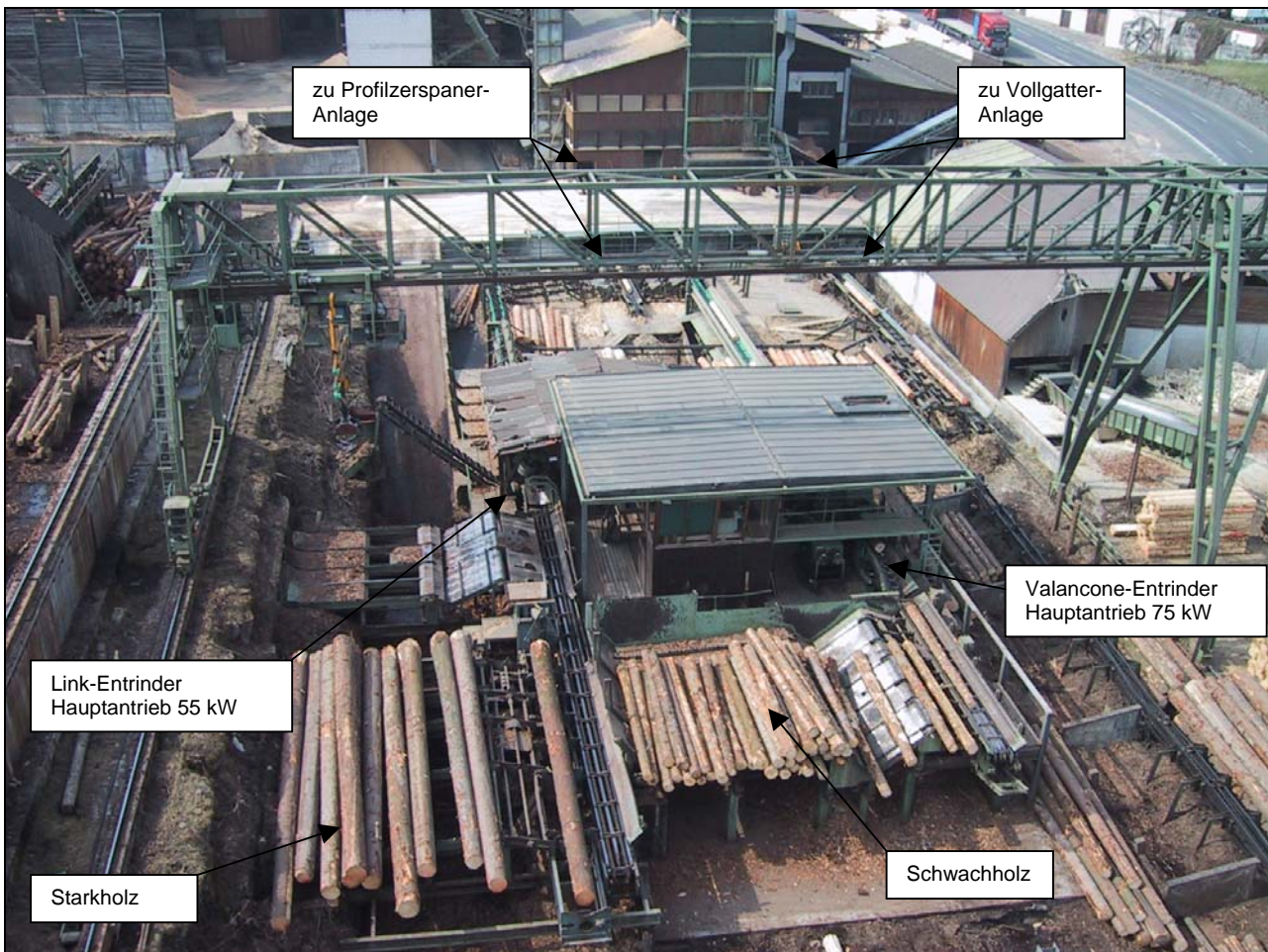


Abbildung 2.4: Entrindungsanlage (Gebäude in Mitte unter Portalkran) mit den beiden Entrindungsanlagen

2.1.3 Aussenhackanlage (R+E)

In dieser Hackanlage werden Holzabfälle bis zur Grösse von ganzen Stämmen zu Holzschnitzeln zerhackt. Der Hacker selber hat eine grosse Schwungmasse.

Verbraucher: 200 kW Motor für den Hacker (mit Stern/Dreieck-Anlauf), Excentermulde (Aufgabetrichter) 18.5 kW, Getriebe Einzugaggregat 2 x 9.2 kW, Vibrarinne 15 kW.

Betriebszeit: ca. 3-5 h pro Werktag, der Hacker wird von zwei bis drei Personen bedient.



Abbildung 2.5: In der Excentermulde wird das zu hackende Holz aufgegeben. Dieser Aufgabetrichter hat eine Leistung von 18.5 kW



Abbildung 2.6: Über die Vibrarinne gelangt das Holz in den Einzug und danach in den Hacker. Der Hacker hat einen Antriebsmotor mit 200 kW.

2.1.4 Sägewerk

2.1.4.1 Blockband-Säge

verarbeitet Stämme bis 1m Durchmesser

Verbraucher: Blockbandsäge Gilet 132 kW, dazu Nebenaggregate und Förderanlagen

Betriebszeit: ca. 7 h pro Werktag (Jahresschnitt)



Abbildung 2.7: Blockbandsäge für Stämme bis zu einem Meter Durchmesser

2.1.4.2 Vollgatteranlage

produziert Bauholz (z.B. Gerüstbretter, Dachstühle usw.).

Verbraucher: Vollgatter Hauptantrieb 160 kW, dazu Nebenaggregate und Förderanlagen

Betriebszeit: ca. 8 h pro Werktag

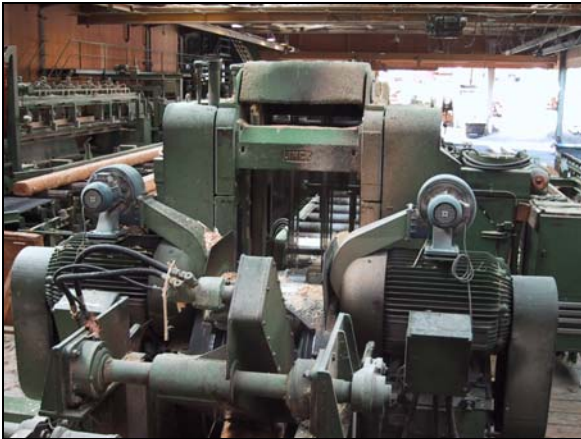


Abbildung 2.8: Bandsäge der Vollgatteranlage. Vollgatter Hauptantrieb 160 kW.

2.1.4.3 Profilerspanneranlage

Hier wird Normware bis 6m Länge produziert (z.B. Dachlatten usw.). Hat Anschluss an Absauganlage 1.

Verbraucher: Hauptantrieb Zerspaner 1: 2 x 80 / 110 kW

Hauptantrieb Zerspaner 2: 2 x 80 / 110 kW

Bandsägen 4 x 75 kW

Fräsaggregat 4 x 32 / 46 kW

Hobelwelle 4 x 15 kW

dazu Nebenaggregate und Förderanlagen

Betriebszeit: ca. 8 h pro Werktag



Abbildung 2.9: Zerspaner 1 der Profilerspanneranlage



Abbildung 2.10: Bandsägen der Profilerspanneranlage

2.1.5 Innenhackanlage

In dieser Hackanlage werden alle Holzabfälle des Sägewerkes zu Holzschnitzeln zerhackt.

Verbraucher: Trommelhacker Lindner 75 kW, Trommelhacker R+E 50 kW sowie verschiedene kleinere Motoren (7.5 kW) für die Förderung, dazu Nebenaggregate.

Betriebszeit: ca. 12 h pro Werktag

2.1.6 Becherwerk

Transportiert die Holzabfälle aus dem Sägewerk in die Silos. Die Holzabfälle werden in Kübeln (Elevatoren), welche mit Ketten verbunden sind, automatisch in die Silos gefördert (automatische Austragung). Wenn produziert wird, läuft die Anlagen den ganzen Tag (9 Stunden). Das Becherwerk muss dauernd laufen damit die Ware weg kommt. Ein Nachlauf ist auch nötig, damit die Ware nicht in den Kübeln bleibt und im Winter gefrieren könnte.

Verbraucher: Förderanlagen, Leistung ca. 50 kW (gemessener Wert aller Motoren)

Betriebszeit: ca. 8 h pro Werktag



Abbildung 2.11: Die Entsorgung der Späne und Schnitzel hat eine zentrale Bedeutung: Fällt die Entsorgung aus, kann nicht mehr produziert werden.

2.1.7 Brettsortierwerk (Fabr. Springer / Bälz)

Bretter aus dem Sägewerk werden hier sortiert und automatisch gestapelt, teilweise automatisch (Längensortierung), teilweise manuell (Sichtkontrolle). Sortieranlage ist Fabrikat Springer, Stapelanlage ist Fabrikat Bälz. Bündel, welche gehoben und gesenkt werden, können 5-6 Tonnen wiegen.

Verbraucher: Förderanlagen
Betriebszeit: ca. 8 h pro Werktag



Abbildung 2.12: Brettsortierwerk Springer



Abbildung 2.13: Sortierwerk Springer Leistung pro Motor ca. 3kW

2.1.8 Brettsortierwerk (Fabr. Link)

Sortierwerk ähnlich wie Sortierwerk Springer. Das Brettsortierwerk Link steht neben der Vakuum-trockenkammer.

Verbraucher: Förderanlagen
Betriebszeit: ca. 6 h pro Werktag (Jahresmittel)

2.1.9 Hobelwerk (Täfer Hobelwerk)

Hier wird Täfer gehobelt. Ist an die Absauganlage 1 angeschlossen.

Verbraucher: Förderanlagen und Hobel
Betriebszeit: ca. 8 h pro Werktag

2.1.10 Hobelwerk (Bauholz Hobelwerk)

Hier wird Bauholz gehobelt. Liegt zwischen den Gebäuden 15 und 16.

Verbraucher: Förderanlagen und Hobel
Betriebszeit: ca. 8 h pro Werktag

2.1.11 Leimwerk 1

Das Holz wird mit einem Lamellen-Hobelwerk und mit Kompaktfräsen bearbeitet und anschliessend zu grösseren Einheiten verleimt. Das Holz wird bei der Verleimung mit Druck zusammengepresst. Das Leimwerk 1 ist an der Absauganlage 1 angeschlossen.

Verbraucher: Förderanlagen, Hobel und Pressen
Betriebszeit: ca. 16 h pro Tag (Zweischichtbetrieb)

2.1.12 Leimwerk 2

Ähnlich wie Leimwerk 1. Drei Verarbeitungsstrassen mit Heizerhobelmaschine, Lamellenhobelmaschine und Vorhobler- und Keilzinkenanlage. Das Leimwerk 2 hat eine eigene Absauganlage. Die Absaugung jeder Strasse ist einzeln abstellbar.

Verbraucher: Förderanlagen, Hobel und Pressen, Leistungen der Vorhobler- und Keilzinkenanlage: Vorhobelmaschine Vorschub 11 kW, Vorhobelmaschine obere Welle 18.5 kW, Vorhobelmaschine untere Welle 11 kW, Kappsäge CreGon 11 kW, Zerspaner 2 x 7.5 kW, Zinkenmotor 2 x 50 kW.
Betriebszeit: ca. 10 h pro Werktag (Jahresmittel)

2.1.13 Leimwerk 3

Plattenproduktion. Holz wird zu grossen Platten zusammengefügt und verleimt. Eine Anlage arbeitet mit hydraulischen Druckpressen (die Druckkraft entspricht einem Gewicht von 22 Lokomotiven), die andere Anlage mit Vakuum (150mbar). Das Leimwerk 3 hat keine Absaugung.

Verbraucher: Förderanlagen, Hobel und Pressen
Betriebszeit: ca. 8 h pro Werktag



Abbildung 2.14: Leimwerk 1. In grossen hydraulischen Pressen werden die geleimten Einzelteile zu grossen Stücken zusammengefügt.



Abbildung 2.15: Leimwerk 3. An Stelle von hydraulischen Pressen wird hier mit Vakuum gearbeitet. Der Luftdruck drückt die zu leimenden Teile zusammen.

2.1.14 Leimwerk 4

Im Aufbau.

Verbraucher: Können im Moment noch nicht aufgelistet werden, da das Leimwerk im Aufbau ist.
Betriebszeit: ca. 8-16 h pro Werktag

2.1.15 Horizontalbandsäge und Kappstation Paul

Standort bei Leimwerk 2. Mit der Horizontalbandsäge werden grosse Platten zugeschnitten. Die Horizontalbandsäge und die Kappstation haben eine eigene Absauganlage.

Verbraucher: verschiedene Sägen
Betriebszeit: ca. 6 h pro Werktag (Jahresmittel)

2.1.16 Ablängestation

Standort bei Lagerhalle und Trockenkammer Nr. 4, neben Fahrzeugwaage. Hier werden Fertigprodukte abgelängt (z.B. Täfer). Die Ablängestation ist im Freien und hat keine eigene Absaugung.

Verbraucher: verschiedene Sägen
Betriebszeit: ca. 3 h pro Werktag

2.1.17 Trocknungsanlagen

2.1.17.1 Trockenkammern

Um das Holz vor der Weiterverarbeitung (z.B. in den Leimwerken) zu trocknen, gibt es verschiedene Trockenkammern (Trockner 1 bis 11 mit total ca. 6'000 m³ Rauminhalt). Der Wärmebedarf für die Trocknung beträgt pro Jahr ca. 9 GWh. Ist eine Trockenkammer beladen, so bleibt das Holz für ca. 14 Tage in der Kammer. In den Trockenkammern sind Ventilatoren für eine Luftumwälzung. Typische Grösse der Ventilator-Motoren: 4kW-Motor Total 10 Stk, Drehzahl 1'450 min⁻¹, Durchmesser der Ventilatoren Ø 1'300 mm.

Betriebszeit: ca. 24 h alle Tage (ausser in der Zeit der Beladung)

2.1.17.2 Vakuumtrockner

Zusätzlich zur Beheizung wird für die Trocknung ein Vakuum von ca. 150 mbar erzeugt. Im Vakuumtrockner sind ebenfalls Ventilatoren für die Luftumwälzung installiert (14 Stk à 3 kW).

Betriebszeit: kein regelmässiger Betrieb



Abbildung 2.17: Zwei der insgesamt 11 Trockenkammern.



Abbildung 2.16: Vakuumtrockner

2.2 Infrastrukturanlagen

2.2.1 Druckluft

Druckluftherzeugung und -verteilung. Drei Kompressoren mit je einem 75 kW Elektromotor und Liefermenge 10.1 m³/min (bei 10 bar) pro Kompressor. Ein Gerät Dauerbetrieb, ein Gerät Aussetzbetrieb und ein Gerät Stand-By. Die Druckluft wird mit Absorptions- (im Winter) respektive Kältetrockner (im Sommer) getrocknet. Druckluftproduktion auf 10 bar. Verbrauch: ca. 10-30 m³/min. Die Verbraucher benötigen 6-8 bar (Leimwerk min. 6 bar [Kappmaschine Paul], weitere Maschinen 7 bar). Die Anlagen sind 16 bis 21 Stunden pro Tag in Betrieb, da in einigen Bereichen (Leimwerke) Zweischichtbetrieb gearbeitet wird. Die Abwärme der Kompressoren wird geführt ins Freie geblasen.

Betriebsstunden der Kompressoren im Jahr 2002:	Kompressor 1:	3'745 h
	Kompressor 2:	2'600 h
	<u>Kompressor 3:</u>	<u>2'200 h</u>
	Total (Summe 1-3)	8'545 h *

Betriebsstunden im Jahr 2000 (als Abschätzung): Total (Summe 1-3) 7'150 h *

* Mitte 2002 wurde neu das Leimwerk 2 und 3 an diese Kompressoren angeschlossen. Dadurch erhöhten sich die Betriebsstunden.



Abbildung 2.18: Druckluftkompressor 1 und 2. Antrieb pro Kompressor mit 75 kW Elektromotor.



Abbildung 2.19: Adsorptionstrockner für die Trocknung der Druckluft im Winter (mit Druckverlust von ca. 1 bar)

2.2.2 Absauganlagen

An der Absauganlage 1 sind angeschlossen: Profilerspanneranlage, Täfer - Hobelwerk, Leimwerk 1. An der Anlage 2 sind angeschlossen: Leimwerk 2. Zugehörig zu den Absauganlagen sind jeweils die Filteranlagen.

Verbraucher: z.B. für Leimwerk 1: 4 x 22 kW Motoren und ein Zwischenventilator mit einem 15 kW Motor

Betriebszeit: ca. 8-20 h pro Werktag (je nach Absauganlage und Schichtbetrieb)

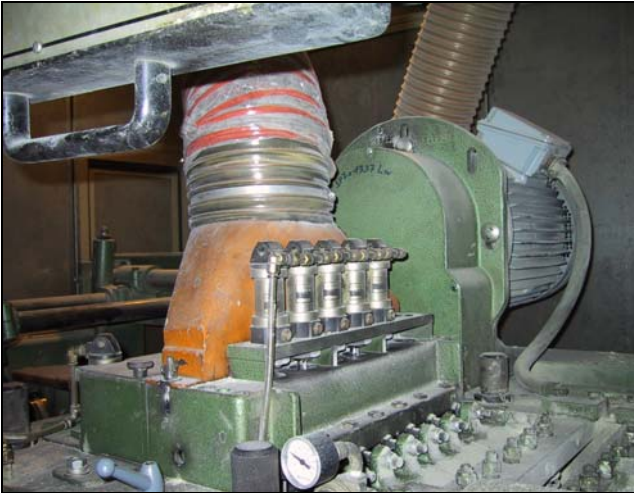


Abbildung 2.20: Leimwerk 1. Einzelabsaugung bei der Hobelmaschine.



Abbildung 2.21: Absaugventilatoren und Filterstation bei Leimwerk 2.



Abbildung 2.22: Ein verzweigtes, langes Netz verursacht hohe Druckverluste.



Abbildung 2.23: Die hohen Druckverluste bedingen mehrere Ventilatoren hintereinander.

2.2.3 Wärmeerzeugung und -Verteilung

Heizzentrale mit einem 5 MW und einem 1.5 MW Holzheizkessel. Zugehörige Förderanlagen für die Einbringung des Brennstoffes. Rauchgasventilator FU - gesteuert. Im Sommer meist nur 5MW-Kessel in Betrieb. Wärmeverteilung mit Umwälzpumpen. Bei den Verbrauchern ebenfalls Umwälzpumpen (Lufterhitzer und Gruppenpumpen).

Betriebszeit: ca. 24 h jeden Tag Sommer und Winter (Kessel 2, Kessel 1 nur im Winter)



Abbildung 2.25: 5 MW Holzessel mit Zyklonabscheider und Aschemulde.



Abbildung 2.24: Verbrannt werden Schnitzel, Rinden- und Holzabfälle.



Abbildung 2.26: Die Wärmeverteilung erfolgt mit Haupt- und Zwischenpumpen.

3. Messungen

3.1 Messungen an den Druckluftanlagen

3.1.1 Allgemeines Vorgehen

Nachfolgend wird aufgelistet, welche Fragen beantwortet werden sollen und mit welchem Vorgehen sie beantwortet werden können. Gibt es mehrere Möglichkeiten, sind diese mit Buchstaben getrennt aufgeführt.

Frage	Vorgehen	Bemerkungen
Sind Leckverluste vorhanden und wie gross sind diese?	a) Behältermethode (Vorgehen siehe Kapitel Vorgehensweise, Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen mit der Behältermethode) b) Ablesen der Zählerstände bei vorhandenen Druckluftzählern während einer Zeitperiode, wenn kein Druckluftbedarf vorhanden ist (z.B. Holzproduktion nicht in Betrieb) c) Leckagebestimmung durch Einschaltdauermessung (Vorgehen siehe Kapitel Vorgehensweise; Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen durch die Einschaltdauermessung) d) Messung des Elektrizitätsverbrauches während einer Zeit, in welcher kein Druckluftbedarf von Seiten der Produktion vorhanden ist	Bei allen Vorgehensweisen muss sichergestellt werden, dass keine Verbraucher in Betrieb sind.
Wo sind die Lecks im Druckluftnetz?	Absperren von einzelnen Verbrauchern oder Anlageteilen und nachfolgende Ermittlung der Leckverluste. Aufspüren der Lecks visuell, akustisch und mit Hilfsmitteln (z.B. präzise Ortung der einzelnen Leckstellen aus grosser Distanz mit einem Ultraschall-Leckortungsgerät, z.B. Sonaphone ULS).	mögliche Leckquellen: <ul style="list-style-type: none"> • Kompressoren selber • Kondensatablass-System • Undichtheiten im Netz • Undichtheiten bei den Verbrauchern (Bezüglich Lecksuche siehe auch Liste im Kapitel "Checkliste für die Behebung von Druckluftlecks")

Frage	Vorgehen	Bemerkungen
Gibt es Elemente im System, welche einen zu grossen Druckverlust erzeugen?	<ul style="list-style-type: none"> • Messen / Überprüfen des Ansaugdruckverlustes über die Ansaugfilter • Messen / Überprüfen des Druckverlustes über die Druckluftfilter • Messen / Überprüfen des Druckverlustes über die Drucklufttrockner • Messen / Überprüfen des Druckverlustes über die übrigen Anlagenelemente • Messen / Überprüfen der Leitungsdimension der Druckluftleitungen 	
Wie ist das Verhältnis Leerlaufzeiten / Lastzeiten der Kompressoren, wie ist die Auslastung der Kompressoren?	<p>a) Wenn am Kompressor die Gesamt- und die Laststunden separat erfasst werden, kann das Verhältnis ermittelt werden.</p> <p>b) Messung und Aufzeichnung des aufgenommenen Stromes respektive der aufgenommenen Leistung.</p>	
Wie viel Druck wird bei den Verbrauchern effektiv benötigt?	Messung des Druckes bei Verbrauch und bei Stillstand bei den Verbrauchern.	
Wie gross ist die Schaltdifferenz bei den Kompressoren?	Einstellungen ermitteln / notieren	
Wie gross ist die spezifische Kompressorenleistung [kW/(m ³ /min)]	Messung der Leistung und der zugehörigen Liefermenge	Bildung von Kennzahlen und Vergleich

Tabelle 3.1: Allgemeines Vorgehen für Messungen an Druckluftanlagen

3.1.2 Konkretes Vorgehen Leckverluste und Liefermengen

Für die Ermittlung der Leckverluste wurden zwei Ansätze gewählt:

- a) Elektromessung mit dem Elektromessgerät [A]
- b) Messreihen mit definierten Betriebszuständen an der Anlage (Verlauf des Ladens und des Entladens). Dabei wurden Behälterdruck und Zeit mit Uhr und Manometer erfasst.

Eine periodische Aufzeichnung der Leistung während 12 ½ Tagen (19.07.2003 bis 31.07.2003) ergab folgendes Bild:

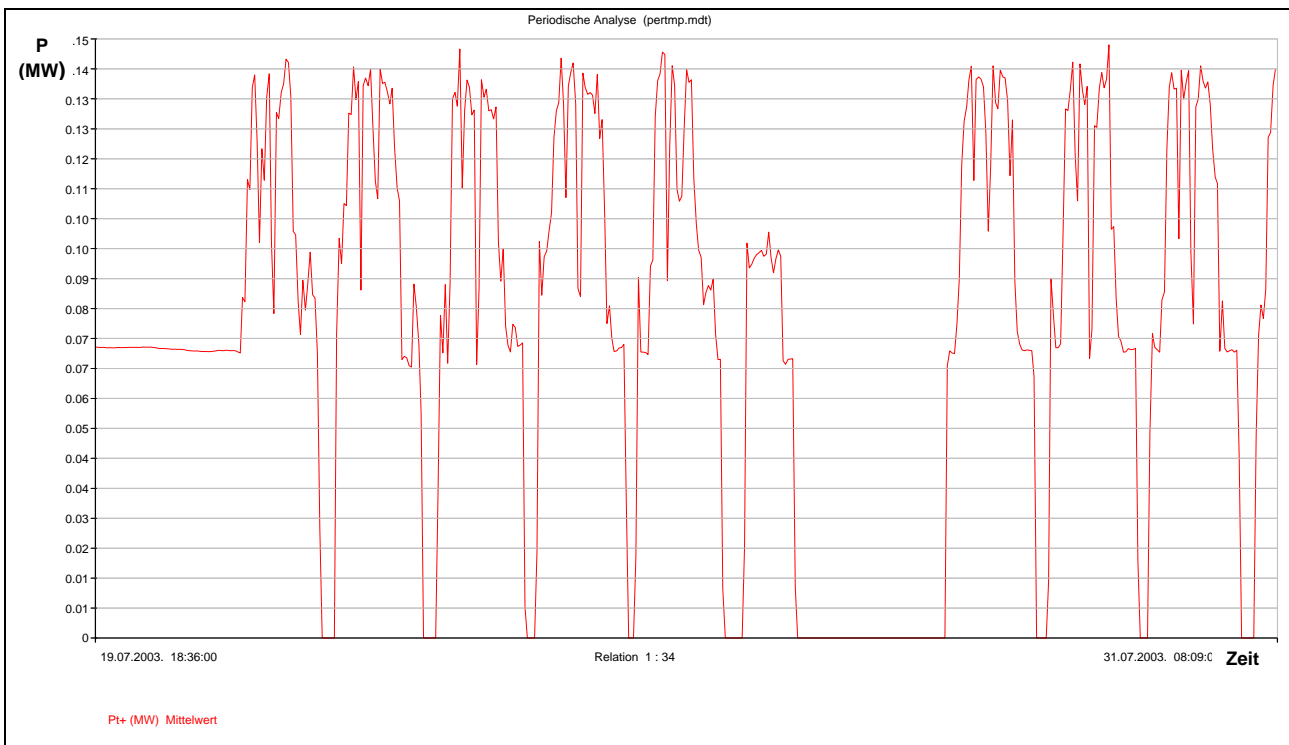


Abbildung 3.1: Aufzeichnung des Mittelwertes der Wirkleistung aller Druckluftkompressoren mit Elektromessgerät [A] in der Woche 30 - 2003. Am ersten Wochenende 19./20.07.2003 wurde die Anlage bewusst laufen gelassen.

Die Leistung durch Leckverlust am Samstag und Sonntag 19. und 20.07.2003 ist gut zu erkennen.

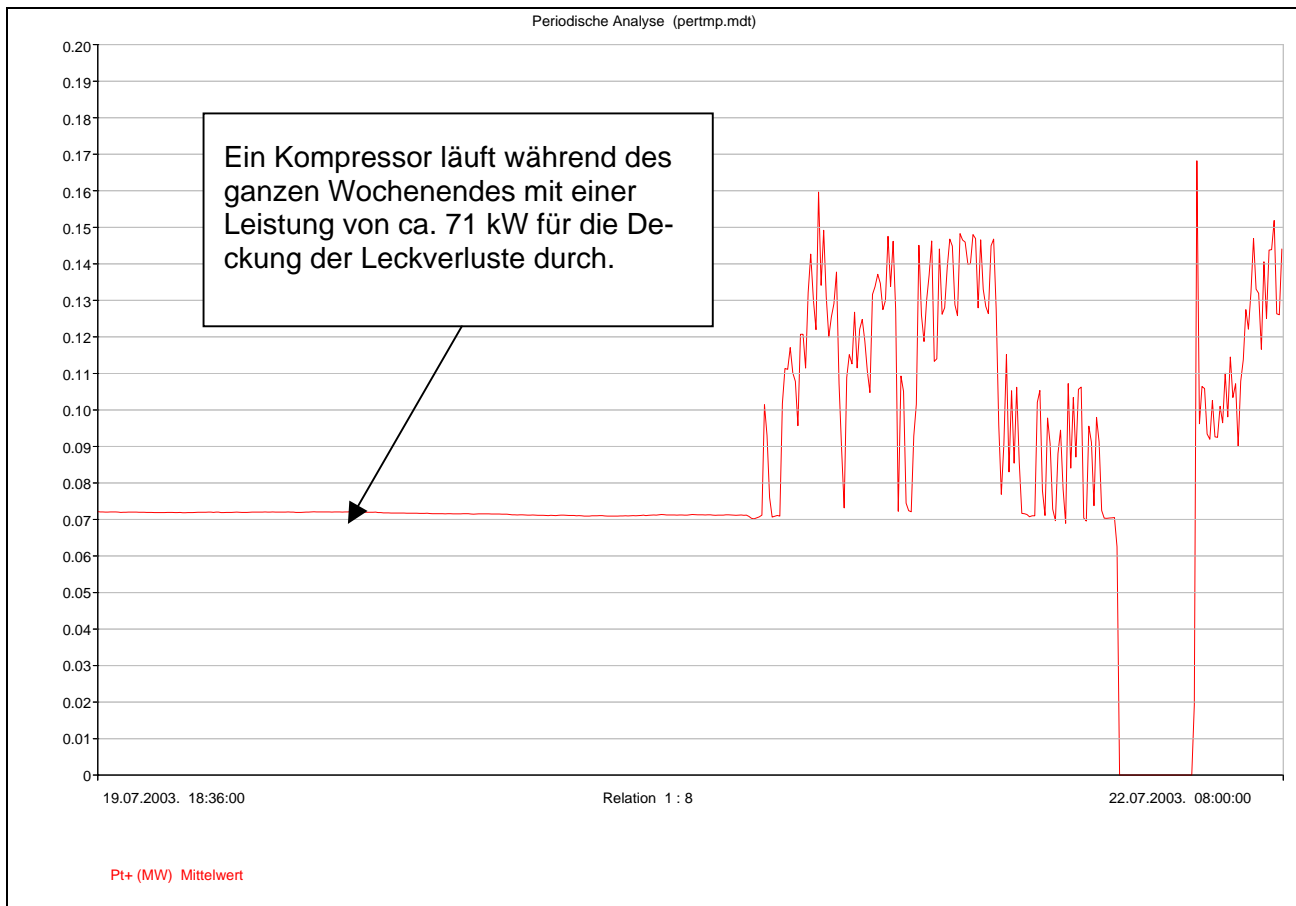


Abbildung 3.2: Aufzeichnung des Mittelwertes der Leistung mit Elektromessgerät [A] aller Druckluftkompressoren in der Zeit vom 19.07.2003-18:36 bis 22.07.2003-08:00. Die Kompressoren wurden zur Ermittlung der Leckverluste bewusst laufen gelassen.

Von der Elektroleistung (Elektroenergie) her kann hier sehr einfach eine klare Aussage über die Leckverluste gemacht werden.

Die erhaltene Leistung (ca. 71 kW) wird mit den übrigen Auswertungen in Zusammenhang gebracht und verglichen (z.B. Abbildung 3.3).

Die gemessenen Drücke und die zugehörigen Zeiten (Laden und Entladen Druckbehälter) wurden ausgewertet und entsprechende Werte und Daten ermittelt (siehe folgende Abbildungen).

Für die Ermittlung der Werte wurden die Behältermethoden und auch die Gradientenmethode verwendet. Detaillierte Berechnungsgänge für eine Messreihe sind im Kapitel "Detaillierte Messresultate und Berechnungen" angefügt.

Messwerte Temperatur und Barometerdruck													
t_a	=	Lufttemperatur am Ansaugstutzen											30 °C
													303.15 K
φ_a	=	Luftfeuchte relativ am Ansaugstutzen											40 % r.F.
P_a	=	Absoluter Ansaugdruck am Ansaugstutzen (Barometerdruck)											1'005 hPa 1.005 bar
t_{e1}	=	Behältertemperatur bei Messbeginn											31 °C
T_{e1}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messbeginn											304.15 K
t_{e2}	=	Behältertemperatur bei Messende											31 °C
T_{e2}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messende											304.15 K

$$Q = V \cdot \frac{3600 - T_a}{T \cdot P_a} \cdot \left(\frac{P_{e2} - P_{e1}}{T_{e2} - T_{e1}} \right)$$

$$Q = \frac{V \cdot (P_2 - P_1)}{(t_2 - t_1)}$$

Druckmessungen															
	Druck	Uhrzeit	Zeitdauer	Absolut-			Liefer-			Liefer-		Leistung			
	[barÜ]	[hh:mm:ss]	[mm:ss]	[s]	[s]	[ss]	[s]	[bar]	[m³/h]	[m³/min]	[m³/h]	[m³/min]	[Liter/s]	[m³/min]	[kW]
1	1.5	13:40:30	00:00:00	0	0	00:00:00	0	2.505							54
2	2.0	13:40:43	00:00:13	13	13			3.005	457.13	7.6188			128.0365	7.6822	57
3	2.5	13:40:53	00:00:10	10	23	00:00:23	23	3.505	594.27	9.9045	516.76	8.6126	166.4475	9.9868	58
4	3.0	13:41:03	00:00:10	10	33			4.005	594.27	9.9045			166.4475	9.9868	59
5	3.5	13:41:14	00:00:11	11	44	00:00:21	21	4.505	540.25	9.0041	565.97	9.4328	151.3159	9.0790	60
6	4.0	13:41:26	00:00:12	12	56			5.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	61
7	4.5	13:41:38	00:00:12	12	68	00:00:24	24	5.505	495.22	8.2537	495.22	8.2537	138.7062	8.3224	62
8	5.0	13:41:49	00:00:11	11	79			6.005	540.25	9.0041			151.3159	9.0790	64
9	5.5	13:42:00	00:00:11	11	90	00:00:22	22	6.505	540.25	9.0041	540.25	9.0041	151.3159	9.0790	65
10	6.0	13:42:12	00:00:12	12	102			7.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	67
11	6.5	13:42:24	00:00:12	12	114	00:00:24	24	7.505	495.22	8.2537	495.22	8.2537	138.7062	8.3224	69
12	7.0	13:42:35	00:00:11	11	125			8.005	540.25	9.0041			151.3159	9.0790	70
13	7.5	13:42:47	00:00:12	12	137	00:00:23	23	8.505	495.22	8.2537	516.76	8.6126	138.7062	8.3224	72
14	8.0	13:42:59	00:00:12	12	149			9.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	74
15	8.5	13:43:11	00:00:12	12	161	00:00:24	24	9.505	495.22	8.2537	495.22	8.2537	138.7062	8.3224	76
16	9.0	13:43:23	00:00:12	12	173			10.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	78
17	9.5	13:43:36	00:00:13	13	186	00:00:25	25	10.505	457.13	7.6188	475.42	7.9236	128.0365	7.6822	80
18	9.95	13:43:47	00:00:11	11	197	00:00:11	11	10.955	486.22	8.1037			136.1843	8.1711	57
19															
20	00:03:17	3	17	197	197		197								

Ingenieurbüro
DOLDER
Energie- und Gebäudetechnik

Version P1.1
26.02.2003
Seite: 2 / 10

Abbildung 3.3: Beispiel Auswertung Laden des Druckbehälters (Messung Nr. 3) mit Kompressor 1.

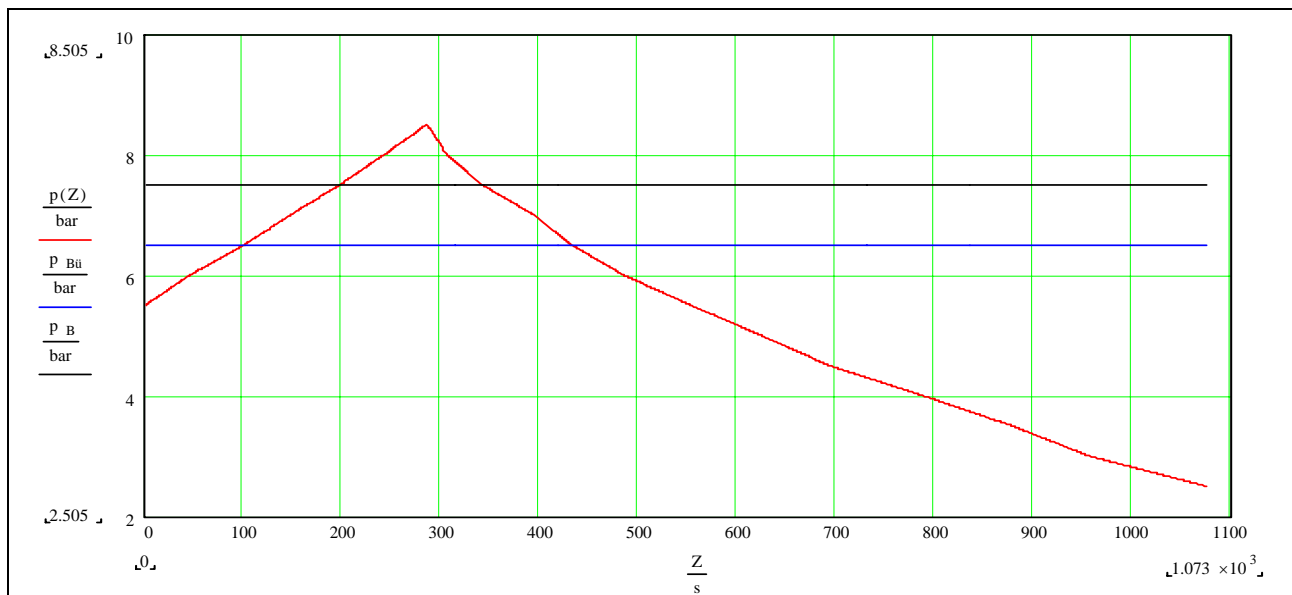


Abbildung 3.4: Berechnete und grafisch dargestellte Funktion Druckverlauf im Behälter beim Laden und Entladen (Messung 1 und 2). Mittels der Gradientenmethode kann bei verschiedenen Drücken die Liefer- und Leckmenge ermittelt werden. Hier bei einem Betriebsdruck $p_{Bü}$ von 6.5 bar. Detaillierte Berechnungsgänge für eine Messreihe sind im Kapitel "Detaillierte Messresultate und Berechnungen" eingefügt.

Durch die Auswertungen der Daten und Berechnungen konnten folgende Werte ermittelt werden:

- Liefermenge bei verschiedenen Betriebsdrücken
- Leckmenge bei verschiedenen Betriebsdrücke
- Funktionen für den Lade- und Entladevorgang
- spezifische Kompressorleistung
- Systemvolumen

3.1.3 Liefermengen der Kompressoren

Die ermittelte Liefermenge wird mit dem Katalogwert verglichen. Es sind Abweichungen zum Katalogwert von ca. 2-3 m³/min festzustellen.

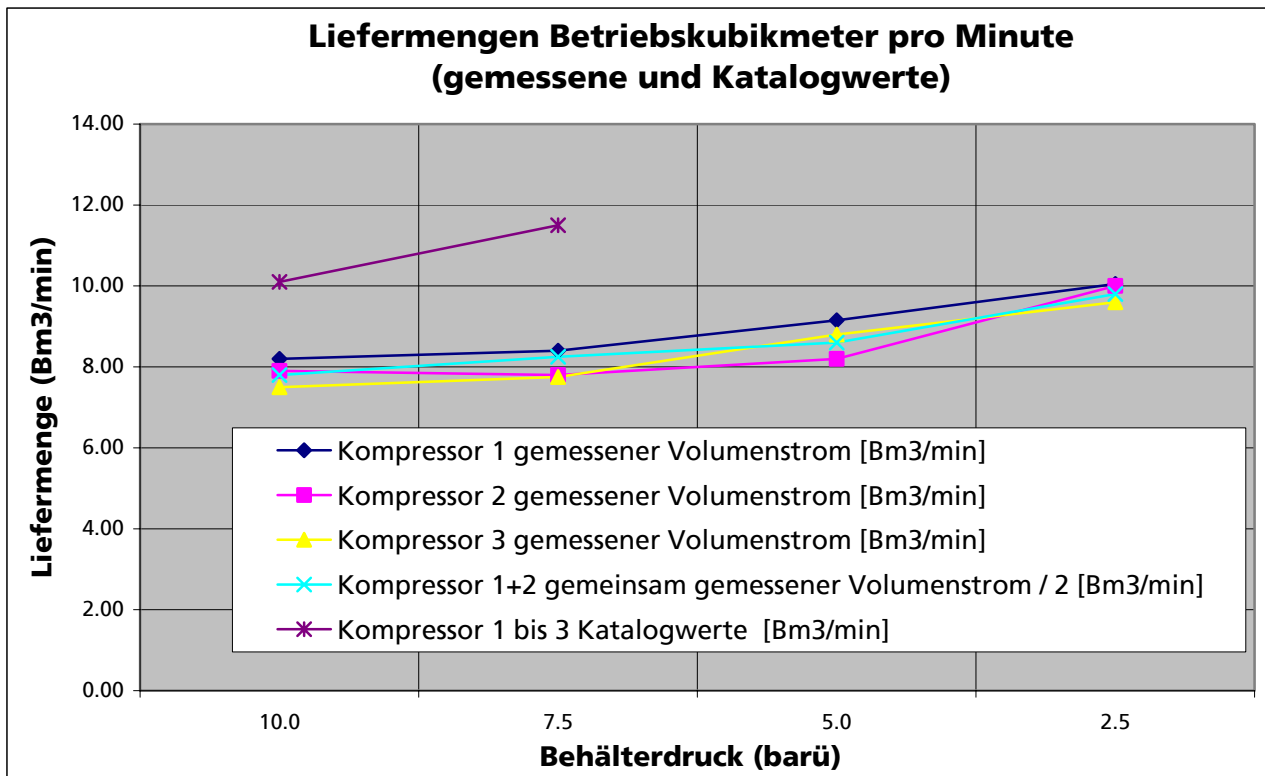


Abbildung 3.5: Liefermenge der Kompressoren (gemessene und Katalogwerte)

3.1.4 Spezifische Kompressorenleistung

Die ermittelte spezifische Kompressorenleistung kann mit Angaben in der Literatur verglichen werden.

Bemerkung: Für Energiebetrachtungen (Umrechnung in kWh/m³) sind diese Werte mit 60 Minuten pro Stunde (min/h) zu dividieren.

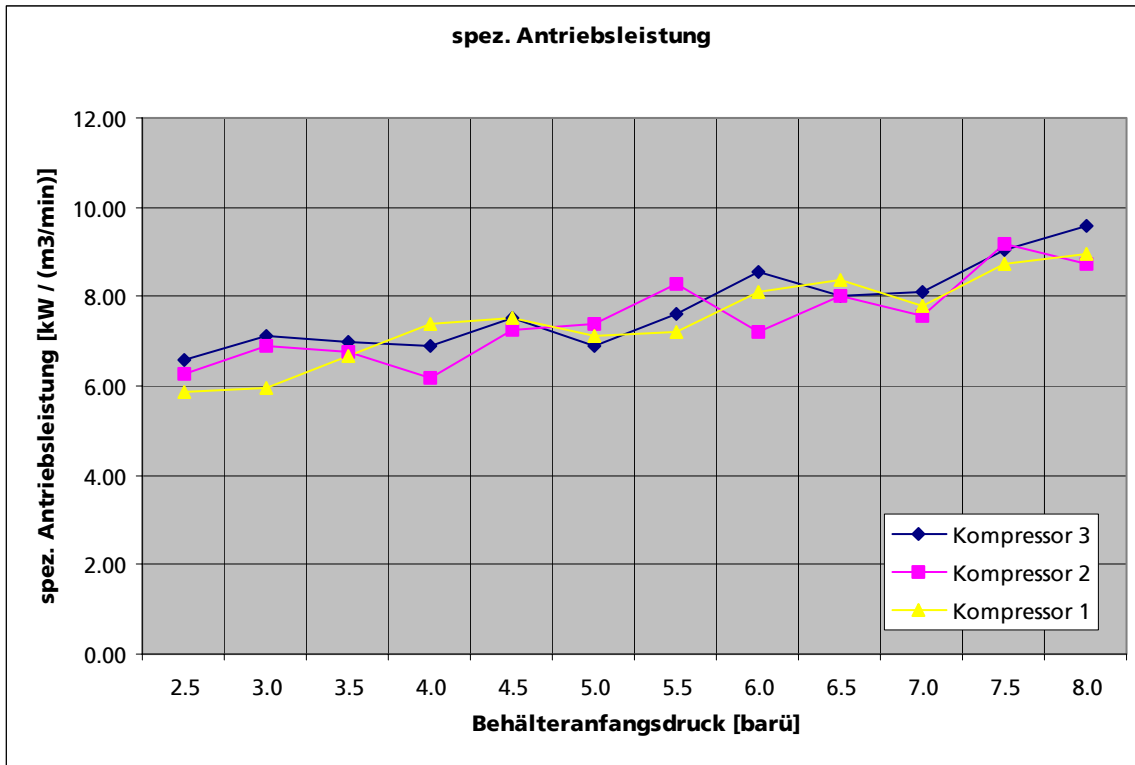


Abbildung 3.6: Spezifische Leistung der Kompressoren 1 bis 3.

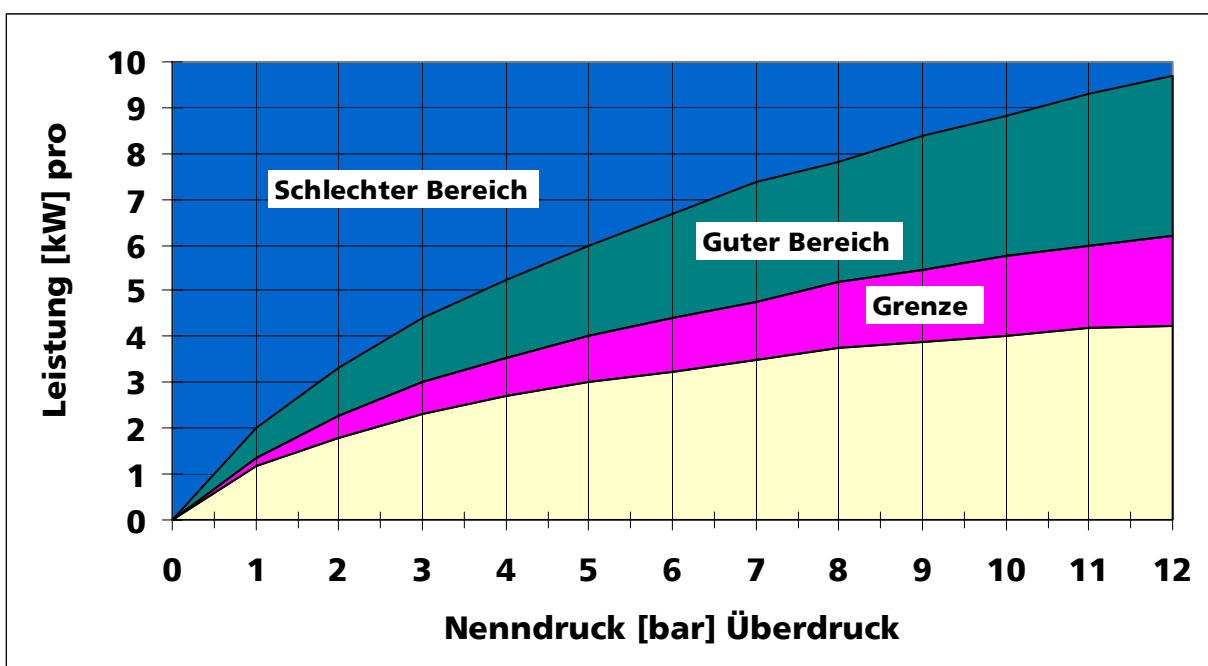


Abbildung 3.7: Angaben Spezifische Leistung in Literatur. Quelle: [8], Seite 12/26

Werden die gemessenen und ermittelten Werte in die vorstehende Grafik eingetragen, ergibt sich folgendes Bild:

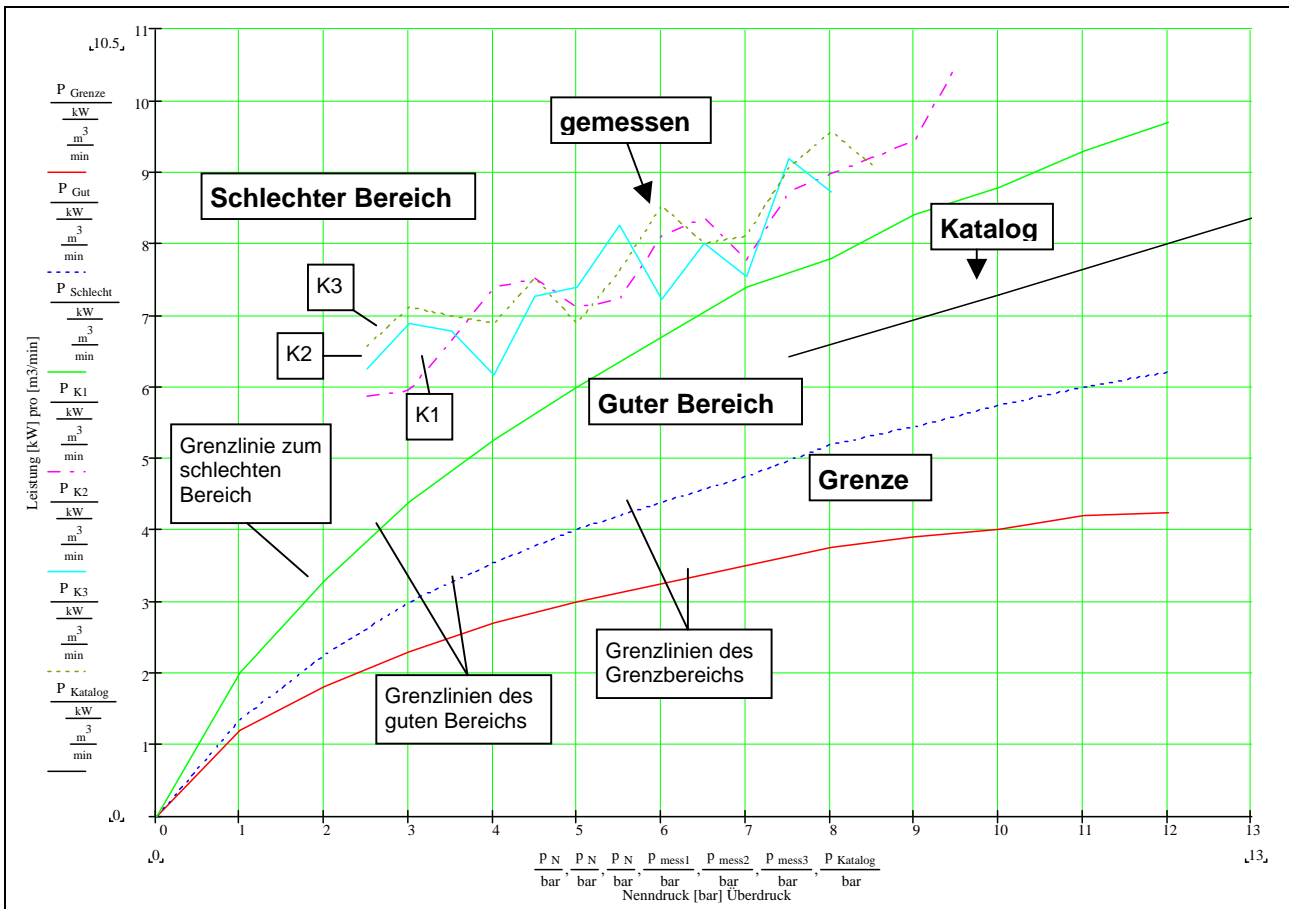


Abbildung 3.8: Eintragungen der gemessenen und ermittelten Werte in das Diagramm "Spezifische Leistung". Der Katalogwert ist im guten Bereich, die gemessenen Werte der Kompressoren im schlechten Bereich. Vergleiche Angaben in [8, Seite 12/26].

Wird davon ausgegangen, dass für die Druckverluste vom Kompressor zum Behälter auch noch ein Wert (z.B. ca. 1 bar für Druckverluste der Filter, Trockner usw.) eingesetzt werden müsste, dann dürften die Kompressoren in der Grafik aus Literatur [8] an der Grenze zum "schlechten Bereich" oder im "schlechten Bereich" liegen.

Wird die aufgenommene elektrische Leistung in Abhängigkeit des Druckes aufgetragen, ergibt sich folgendes Bild:

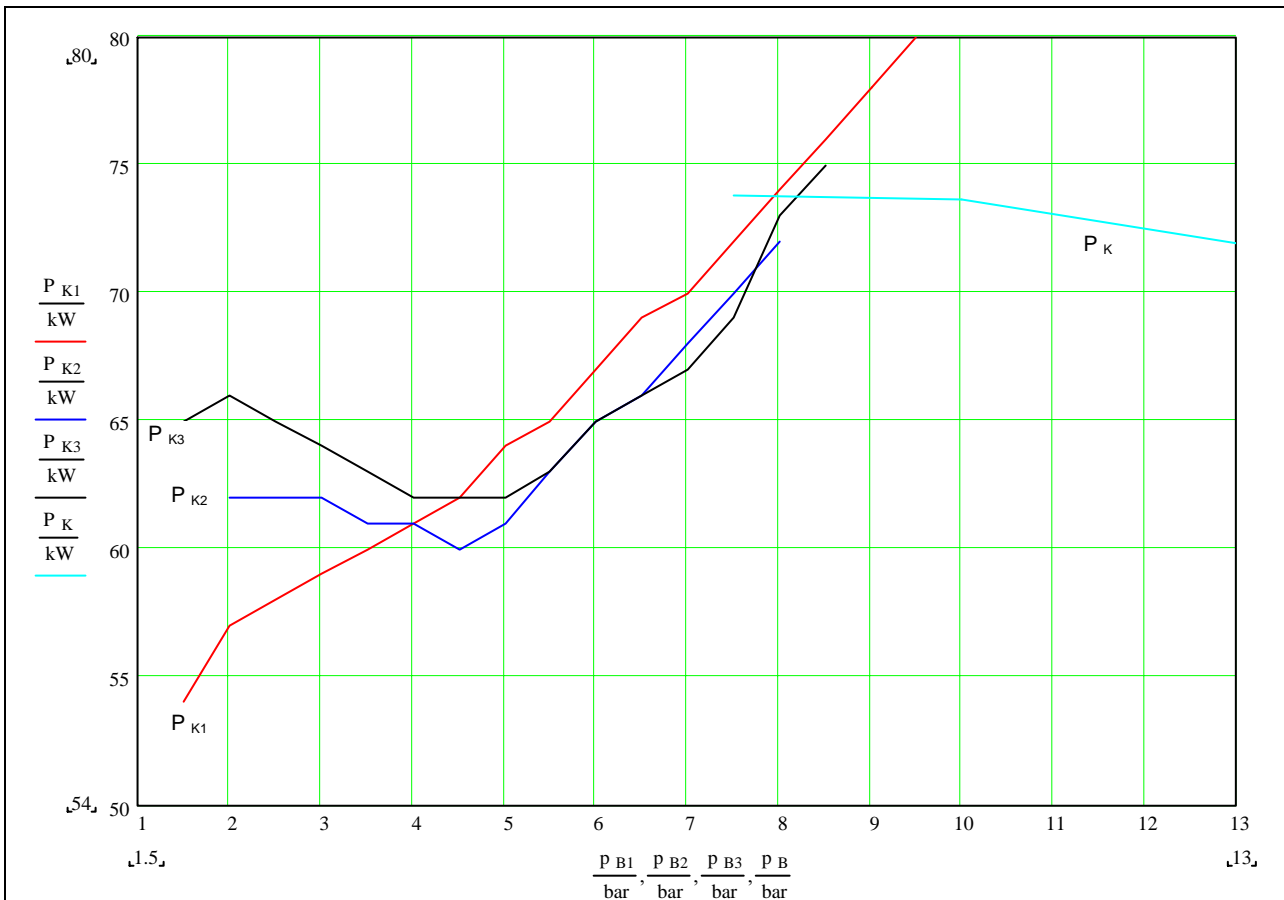


Abbildung 3.9: Aufgenommene gemessene Wirkleistung in Abhängigkeit des Behälterdruckes für Kompressor 1 bis 3 (K1, K2, K3) und Katalogwert (K).

Aus der Grafik ist ersichtlich, dass die Katalogwerte nicht plausibel sind und sich nicht mit den Messungen und Praxiserfahrungen (bei höherem Druck erhöhte Leistungsaufnahme) decken.

3.2 Messungen an den Absauganlagen

3.2.1 Messung der Ventilatoren

Die Absauganlagen sind, wie der Betrieb, in den Jahren mehr und mehr gewachsen. Hier wurde noch etwas angehängt und da noch ein Ventilator installiert. Somit sind die Anlagen nicht so optimal, wie sie wären, wenn man sie heute neu erstellen würde.

Alle Ventilatoren sind im Schmutzluft-Förderstrom montiert. Alle Späne und Holzschnitzel gehen durch die Ventilatoren. Dadurch muss der Abstand zwischen Flügel und Gehäuse grösser sein und Beschädigungen führen zum Beispiel zu Unwuchten. Dies alles führt zu einem schlechteren Wirkungsgrad.

Alle Ventilatoren wurden ausgemessen:

- Messung der Stromaufnahme, des $\cos\phi$ und der Leistung der Ventilatoren
- Messung der Luftmengen
- Messung Druck bei Ventilator (saug- und druckseitig)

Es wurden Gesamtwirkungsgrade (System Motor und Ventilator) ermittelt, die zwischen 30 und 70% liegen.

Interessant sind auch die Unterschiede zwischen der geschlagenen Leistung (Leistung auf dem Typenschild) und der gemessenen Leistung.

Messung 12: Nennleistung gemäss Typenschild 18.5 kW, gemessene Leistung 18.5 kW

Messung 15: Nennleistung gemäss Typenschild 22.0 kW, gemessene Leistung 12.3 kW

Die Gesamtleistung aller Ventilatoren gemäss Typenschild beträgt 318 kW, gemäss Messung 245 kW.

Eine Aussage über Energien und Leistungen kann nur gemacht werden, wenn die Wirkleistung oder der $\cos\phi$ als gemessener Wert bekannt ist! Eine Strommessung alleine genügt nicht!

In [1, Seite 35] sind Kennwerte für Absauganlagen angegeben. Als Durchschnittswert ist definiert: 1.2 kW / (1'000 m³/h), als Zielwert: 0.8 kW / (1'000 m³/h).

Bei der gemessenen Anlage wurden Werte zwischen 1.30 und 3.56 kW / (1'000 m³/h) ermittelt.

Auf der folgenden Seite sind die Messresultate der Ventilatormessungen zusammengefasst.

Schilliger Holz AG		Nr. 1 bis 3 Leimwerk 2			Nr. 9 bis 10 Täfer-Hobelwerk			Nr. 13 bis 14 Sägerei					
Zusammenfassung Absauganlagen		Nr. 4 bis 8 Leimwerk 1			Nr. 11 bis 12 Bauholz-Hobelwerk			Nr. 15 Paul+Kälin					
Nr.	Anlage	Luftdaten		Motordaten		Wirkungsgrade		Kontroll- und abgeleitete Grössen					
		Luftmenge	Differenzdruck statisch	Total-Druck stat.+dyn.	Nennleistung auf Typenschild	gemessene Leistung	cos φ auf Typenschild *1	cos φ gemessen	theoretischer Motorwirkungsgrad *2	Systemwirkungsgrad *3	theoretischer Ventilatorwirkungsgrad *4	Motorleistung Handmessmethode, cos φ von Typenschild *5	Motorleistung Handmessmethode, cos φ gemessen *6
		[m3/h]	[Pa]	[Pa]	[kW]	[kW]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kW]	[kW]
1	Hetzerhobelmaschine Homs 630	13'951	2'403	2'739	22.00	16.50	0.87	0.70	0.830	0.643	0.7755	20.20	16.25
2	Keilzinkenanlage (Grecon, Hobelmasch. Minda)	14'208	2'649	2'877	30.00	19.80	0.87	0.77	0.897	0.573	0.6395	22.06	19.53
3	Homs 310 (Hobelmaschine)	7'856	2'502	2'672	15.00	10.60	0.87	0.72	0.778	0.550	0.7074	12.89	10.67
4	Keilzinken	6'017	3'777	3'877	18.50	15.10	0.87	0.86	0.897	0.429	0.4781	15.20	15.07
5	Lamellen Hobelmaschine	6'152	3'434	3'538	22.00	13.10	0.88	0.78	0.904	0.462	0.5104	14.91	13.21
6	Homs 1100 (Hetzer) 1. Ventilator	9'937	2'894	3'167	22.00	19.11	0.88	0.83	0.904	0.457	0.5058	20.28	19.13
7	Homs 1100 (Hetzer) 2. Ventilator	8'173	5'101	5'286	22.00	16.50	0.86	0.81	0.904	0.727	0.8046	17.30	16.29
8	Homs 1100 (Hetzer) 3. Ventilator	9'034	3'188	3'900	15.00	15.00	0.88	0.86	0.866	0.652	0.7532	15.45	15.10
9	Täfer-Hobelwerk Trennbandsäge Canali	7'142	2'600	3'045	18.50	18.10	0.87	0.85	0.897	0.334	0.3719	18.45	18.03
10	Täfer-Hobelwerk Hobelmaschine Waco	13'360	3'434	3'741	37.00	20.60	0.87	0.78	0.916	0.674	0.7356	22.81	20.45
11	Bauholz-Hobelwerk Rampenfräse, Schreinerei	7'856	3'041	3'212	18.50	16.40	0.87	0.86	0.897	0.427	0.4762	16.57	16.38
12	Bauholz-Hobelwerk Hobelmaschine	8'158	3'286	3'470	18.50	18.50	0.87	0.83	0.897	0.425	0.4736	19.36	18.47
13	Zerspaner 2 (links)	6'281	4'267	4'453	18.50	17.71	0.87	0.87	0.897	0.439	0.4888	17.68	17.68
14	Zerspaner 1 (rechts)	7'285	3'924	4'174	18.50	16.00	0.87	0.88	0.897	0.528	0.5882	15.47	15.65
15	Paul und Kälin	4'976	2'894	2'962	22.00	12.30	0.87	0.86	0.973	0.333	0.3420	12.34	12.20
	Total Absauganlagen Σ	113'181			318.00	245.32							
	Mittelwert	8'693	3293		21.20	16.35	0.87	0.82	0.890	0.510	0.5767	17.40	16.27
	nur Sägewerke Σ	13'566			37	34							
	Mittelwert	6'783	4'096		19	17	0.87	0.88	0.897	0.483	0.5385	16.58	16.67
	nur Sägewerke mit Hobelwerke Σ	50'082			130	12							
	Mittelwert	8'347	3'425		22	18	0.87	0.85	0.901	0.471	0.5224	18.39	17.78
	nur Leimwerke Σ	63'099			189	138							
	Mittelwert	9'014	3'205		21	15	0.87	0.80	0.884	0.536	0.6129	16.74	15.27
	nur Leimwerk 1 Σ	39'314			100	79							
	Mittelwert	7'863	3'679		20	16	0.87	0.83	0.895	0.546	0.6104	16.63	15.76
	nur Leimwerk 1 Σ für neu	22'107			100	79							
	Mittelwert	7'863	3'679		20	16	0.87	0.83	0.895	0.546	0.6104	16.63	15.76
	nur Leimwerk 2 Σ für neu	36'016			67	47							
	Mittelwert	12'005	2'518		22	16	0.87	0.73	0.835	0.589	0.7074	18.38	15.48
21	Transport Venti Leimwerk 2	-	-	-	7.50	7.00	0.86	0.81	0.855	-	-	7.41	6.98
15a	Transport Paul und Kälin	-	-	-	-	4.70	0.87	0.64	0.973	-	-	-	4.84
	Gesamttotal				325.50	257.02							255.94
	Ermittlung der spezifischen Leistung:	Luftmenge	gemessene Leistung	spezifische Leistung	^{*1} Wenn keine Angabe auf Typenschild, dann Annahme cos φ = 0.87 (Details siehe Blatt Datenaufnahme Motordaten)								
		[m3/h]	[kW]	[kW/(1'000 m ³ /h)]	^{*2} Wirkungsgrad bei Nennleistung gemäss Angaben auf den Typenschild (gemäss "Energie-effiziente Lüftungstechnische Anlagen", S. 108)								
	Sägerei	13'566	33.71	2.48	^{*3} ermittelt aus den gemessenen Daten								
	Leimwerk 1	22'107	78.81	3.56	^{*4} ermittelt aus Quotient Systemwirkungsgrad geteilt durch theoretischer Motorwirkungsgrad								
	Leimwerk 2	36'016	46.9	1.30	^{*5} mit $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$ (cos φ von Typenschild, wenn keine Angabe auf Typenschild dann Annahme cos φ = 0.87)								
	Täfer-Hobelwerk	20'502	38.7	1.89	^{*6} mit $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$ (cos φ gemessen)								
	Bauholz-Hobelwerk	16'015	34.9	2.18									
	Paul+Kälin	4'976	12.3	2.47									

3.2.2 Messung bei unterschiedlichen Volumenströmen

Im Leimwerk 2 ist eine Absauganlage installiert. Sie kann mit den folgenden Stichworten beschrieben werden:

Je ein Absaugventilator für die Produktionsbereiche:

- Hobelmaschine Homs 630
- Hobelmaschine Homs 310
- Produktionslinie Keilzinkenanlage

Die Hobelmaschinen haben im Prinzip eine Absaugstelle, die Produktionslinie Keilzinkenanlage hat vier Absaugstellen:

- Vorhobelmaschine
- Fehlerkappsäge
- Keilzinkenanlage
- Längenkappsäge

Als Grundlage für eine bedarfsgerechte Absaugung wurden Messungen am Ventilator der Produktionslinie Keilzinkenanlage durchgeführt. Dabei wurden jeweils die Absaugstellen Vorhobelmaschine und Keilzinkenanlage abgesperrt.

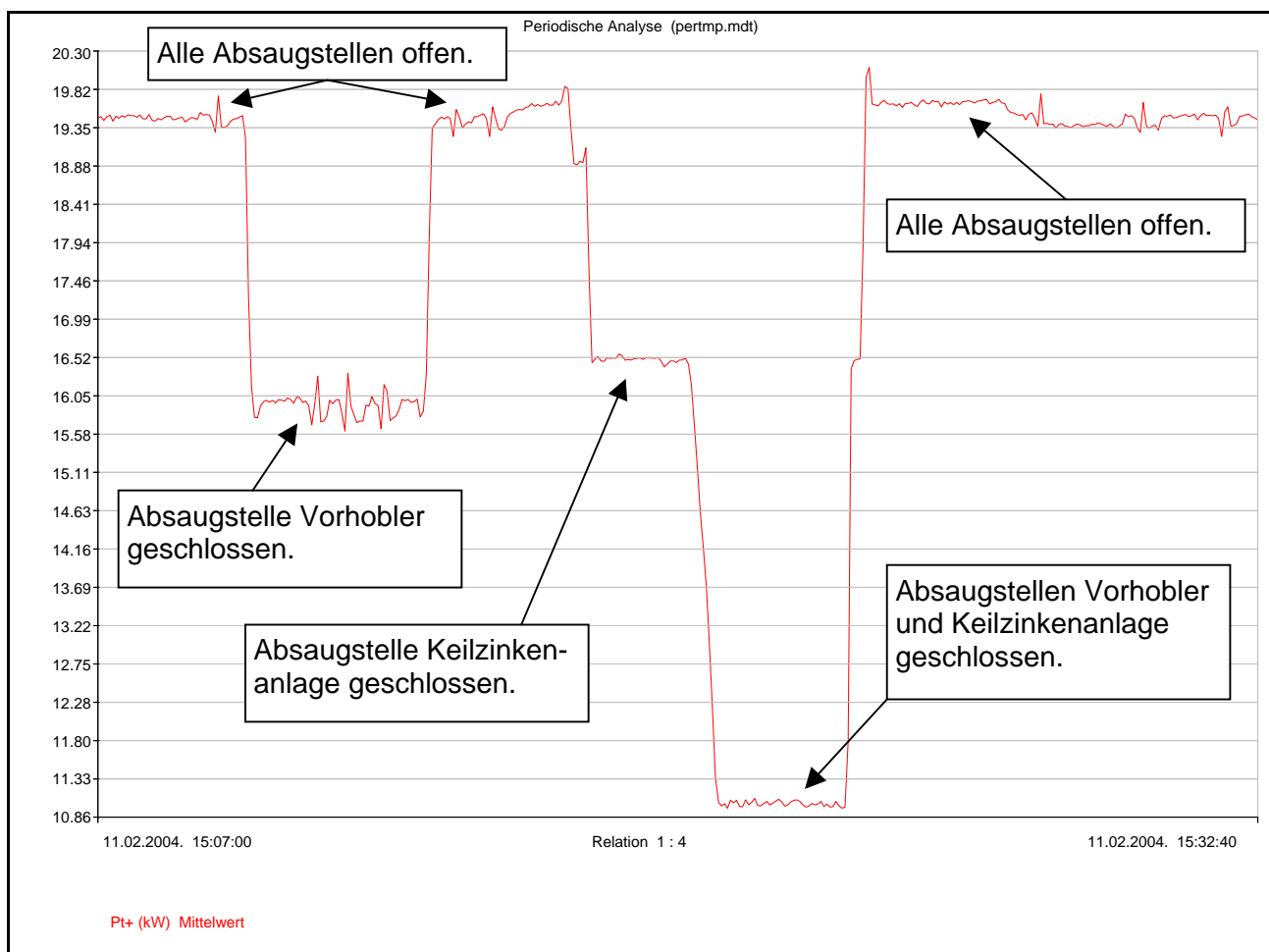


Abbildung 3.10: Aufgenommene gemessene Wirkleistung am Absaugventilator Keilzinkenanlagen (Leimwerk 2), wenn verschiedenen Absaugstellen geschlossen sind.

Mit Zahlenwerten zusammengestellt ergibt dies:

Alle Absaugstellen geöffnet	ca. 19.5 kW	100%
Absaugstelle Vorhobler geschlossen	ca. 16.0 kW	82%
Absaugstelle Keilzinkenanlage geschlossen	ca. 16.5 kW	85%
Absaugstellen Vorhobler und Keilzinkenanlage	ca. 11.0 kW	56%

Die Leistungsaufnahme des Ventilators reduziert sich also um fast 50% und dies ohne Einsatz eines Frequenzumformers.

Im Kapitel Potential wird noch näher auf die Thematik der bedarfsgerechten Absaugung eingegangen.

3.3 Messungen an der Wärmeerzeugung

3.3.1 Durchgeführte Messungen

Es sind zwei Holzheizkessel mit einer thermischen Nennleistung von 1.5 MW und 5 MW installiert. Mit den Messungen sollte ermittelt werden, wie gross der Elektroenergiebedarf für die Wärmeerzeugung ist. Gemessen wurde an der Einspeisung des Schaltchranks für den Kessel. In den Leistungen sind alle Nebenaggregate enthalten wie Verbrennungsluft-, Rauchgasventilatoren, Hauptkesselpumpe, Hydraulik, usw.

Für die Heizkessel ergeben sich folgende Daten:

Heizkessel 1	1.5MW	Monate		7Mt
		Strompreis		0.11Fr./kWh
		mittlere Leistung		10.9kW
Min	3.5kW	Elektroenergie pro Jahr		54'936kWh
Mittel	9.78kW			
Max	16.16kW	Elektroenergiekosten pro Jahr		6'043Fr.
		Elektrische Leistung pro MW _{th}		7.27kW/MW

Heizkessel 2	5MW	Stunden		8'760h
		Strompreis		0.11Fr./kWh
		mittlere Leistung		19kW
Min	9.25kW	Elektroenergie pro Jahr		166'440kWh
Mittel	19.22kW			
Max	26.89kW	Elektroenergiekosten pro Jahr		18'308Fr.
		Elektrische Leistung pro MW _{th}		3.8kW/MW

Heizkessel 2 Hydraulik	5MW	Stunden		8'760h
		Strompreis		0.11 Fr./kWh
Teilergebnis min	0.35kW			
Teilergebnis mittel	2.53kW	mittlere Leistung		2.5kW
Teilergebnis max	7.42kW			
Min	0.35kW	Energie pro Jahr		21'900kWh
Mittel	2.53kW			
Max	7.42kW	Energiekosten pro Jahr		2'409Fr.
		Elektrische Leistung pro MW		0.5kW/MW

Heizkessel 1+2	6.5MW	Stunden		8'760h
(Gesamttotal)		Strompreis		0.11 Fr./kWh
		mittlere Leistung		32.40kW
Min	13.10kW	Energie pro Jahr		243'276kWh
Mittel	31.53kW			
Max	50.47kW	Energiekosten pro Jahr		26'760Fr.
		Elektrische Leistung pro MW		4.985kW/MW

3.4 Messungen an den Trockenkammern

3.4.1 Durchgeführte Messungen

Als Grundlage für die Abschätzung der Einsparungen bei einer Nachrüstung der Ventilatoren für die Trockenkammern mit Frequenzumformer, wurden die Werte der Kammer 5 und 10 gemessen. Für die Kammern können folgende Daten zusammengestellt werden:

Trockenkammer Nr. 5

Allgemeine Daten

Baujahr	1994
Jahre in Betrieb	9Jahre
Betriebsstunden	
bei durchgehendem Betrieb	78'840
gemäss Zähler am 21.10.2003	73'354
Verhältnis Zähler / durchgehend	0.93

Nenndaten

Anzahl Ventilatoren	10Stk
Leistung gemäss Typenschild	4kW
(Aus Liste der Fa. Schilliger)	

Total Leistung gemäss Typenschild 40kW

Messungen

Messung Nr. 1

Ventilatoren 1, 2, 3, 5 (Ventilator Nr. 4 defekt)	10.84kW
Leistungsfaktor, $\cos \varphi$	0.67
pro Ventilator	2.71kW

Messung Nr. 2

Ventilatoren 6, 7, 8, 9, 10	10.05kW
Leistungsfaktor, $\cos \varphi$	0.55
pro Ventilator	2.01kW

<i>Gesamttotal</i>	20.89kW
Pro Ventilator	2.32kW

Leistung für 10 Ventilatoren 23.21 kW

Verhältnis gemessen / Nennleistung	0.58
------------------------------------	------

Trockenkammer Nr. 10

Allgemeine Daten

Baujahr	1997
Jahre in Betrieb	6 Jahre
Betriebsstunden	
bei durchgehendem Betrieb	52'560
gemäss Zähler am 21.10.2003	44'044
Verhältnis Zähler / durchgehend	0.84

Nenndaten

Anzahl Ventilatoren	14 Stk
Leistung gemäss Typenschild	3 kW
(Aus Liste der Fa. Schilliger)	

Total Leistung gemäss Typenschild 42 kW

Messungen

Messung Nr. 3

Gruppe 1, 2, 3 (alle zusammen)	35.89 kW
Leistungsfaktor, $\cos \varphi$	0.78
pro Ventilator	2.56 kW

Leistung für 14 Ventilatoren 35.89 kW

Verhältnis gemessen / Nennleistung	0.85
------------------------------------	------

3.4.2 Kennwerte spezifisch installierte Ventilatorleistung

In [1, Seite 35] sind Kennwerte für Trockenkammern angegeben. Als Durchschnittswert für die spezifisch installierte Ventilatorleistung ist angegeben: 50 bis 240 W/m³, als Zielwert: 100 W/m³.

Die Kammern bei der Firma Schilliger weisen die folgenden Werte auf:

Kammer		1	2	3	4	5	6	7
Kammervolumen	[m ³]	146.11	146.11	629.64	571.34	996.93	271.73	506.00
Gesamte elektrische Leistung	[kW]	6.50	6.50	27.00	27.00	46.00	13.60	22.60
spezifische Leistung	[W/m ³]	44.49	44.49	42.88	47.26	46.14	50.05	44.66
gemessenen elektrische Leistung	[kW]					23.21		
spezifische Leistung	[W/m ³]					23.28		

Kammer		8	9	10	11	Total		
Kammervolumen	[m ³]	139.50	752.64	946.83	935.72	6'042.55		
Gesamte elektrische Leistung	[kW]	11.50	23.00	42.00	33.00	258.70		
spezifische Leistung	[W/m ³]	82.44	30.56	44.36	35.27	42.81		
gemessenen elektrische Leistung	[kW]			35.89				
spezifische Leistung	[W/m ³]			37.91				

3.5 Messungen an der Aussenhackanlage

3.5.1 Durchgeführte Messungen

Zu Beginn des Projektes und bei den ersten Begehungen wurde festgestellt und auch von verschiedener Seite angesprochen, dass die Aussenhackanlage läuft, obwohl kein Hackgut aufgegeben ist.

Durch die Sensibilisierung der Mitarbeiter besserte sich dieser Umstand und bei den Messungen konnte dies nicht mehr festgestellt werden.

Die Leerlaufleistung der ganzen Hackanlage (200 kW-Motor für Hacker sowie Motoren für Aufgabebereich 18.5 kW, Getriebe Einzugaggregat 2 x 9.2 kW, Vibrarinne 15 kW) beträgt ca. 17 kW.

Die Spitzenleistung (Maximalwerte) kann bis zu 460 kW betragen (siehe zweites Bild auf der nächsten Seite). Die Leistungsspitzen und Leistungsunterschiede sind bei einer Hackanlage extrem. Sie fallen jedoch für Energiebetrachtungen nicht ins Gewicht.

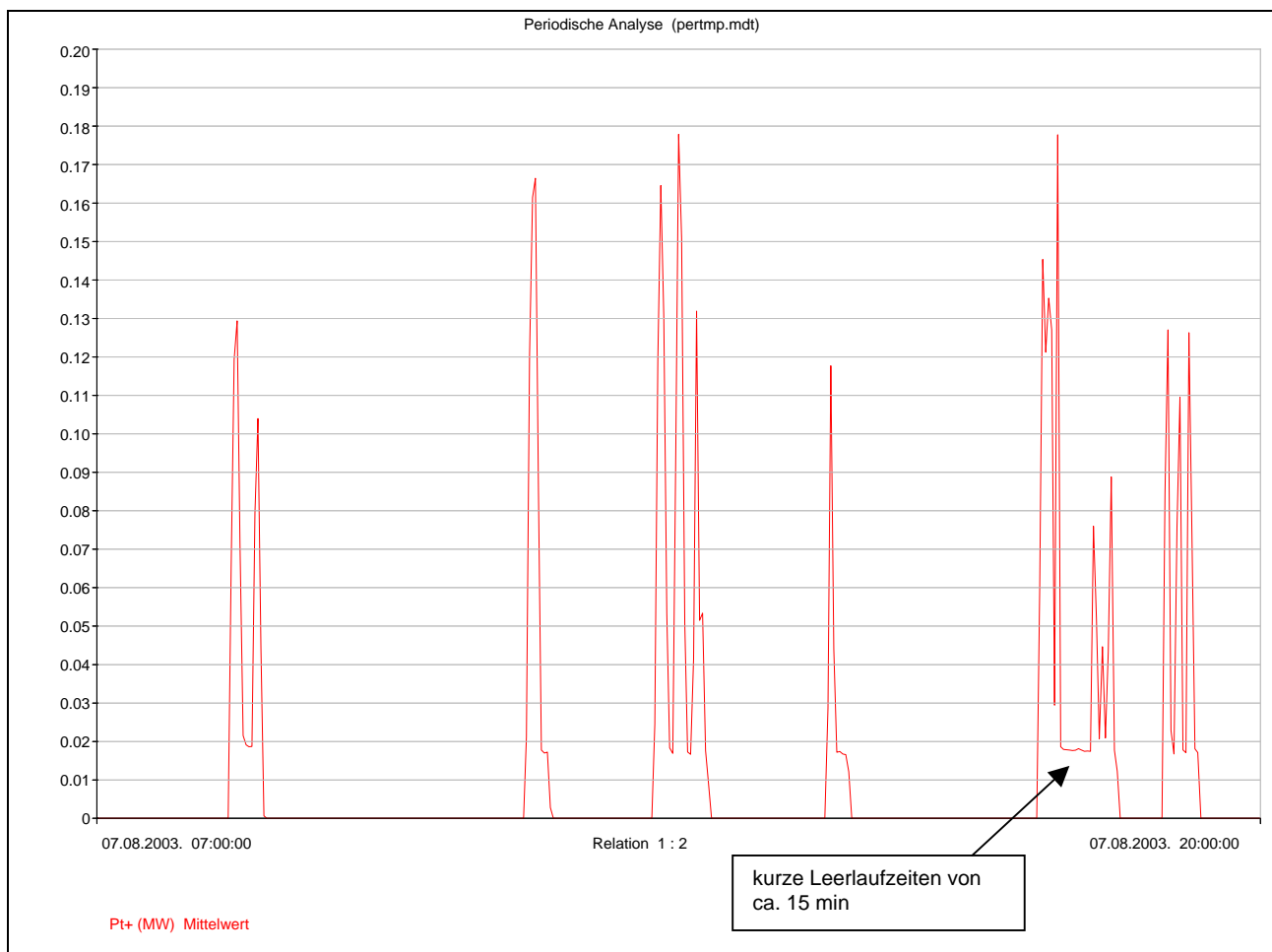


Abbildung 3.11: Diagramm mit dem Mittelwert der Wirkleistung am 07.08.2003 von 07:00 bis 20:00. Die Hackanlage wird an diesem Tag relativ konsequent abgeschaltet.

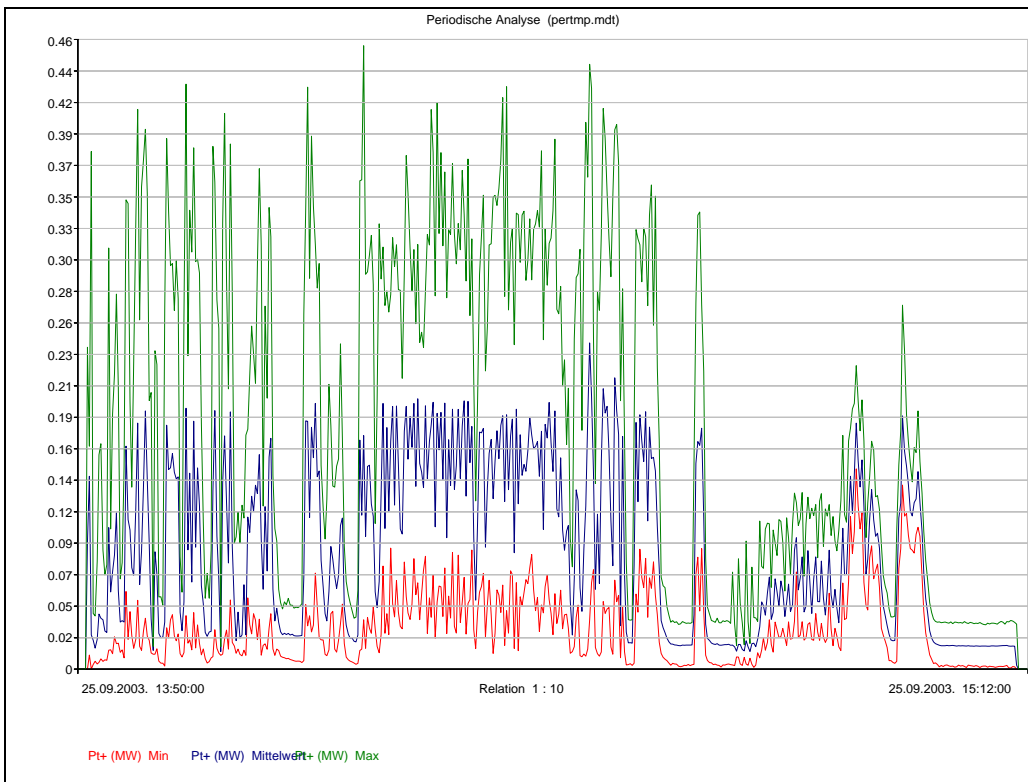


Abbildung 3.12: Minimum, Maximum und Mittelwert der Wirkleistung der Aussenhackanlage am 25.09.2003 von 13:50 bis 15:12 Uhr. Die Minimum-, Maximum- und Mittelwerte sind die Werte, welche in der am Messgerät eingestellten Integrationsperiode erfasst wurden. In dieser Aufzeichnung ist als Integrationszeit 1 Sekunde eingestellt.

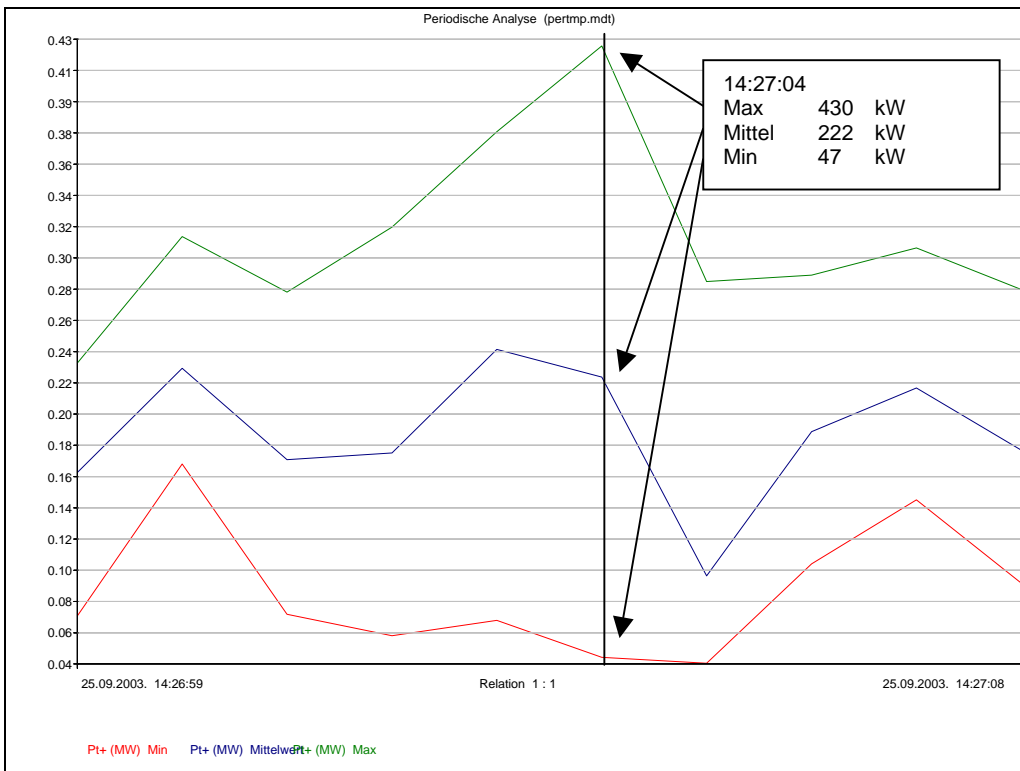


Abbildung 3.13: Innerhalb der gleichen Sekunde wird z.B. um 14:27:04 eine Minimalleistung von 47 kW, ein Mittelwert von 222 kW und eine Maximalleistung von 430 kW erfasst. Für Energiebetrachtungen ist nur der Mittelwert massgebend und für die Leistung, welche an das EW zu bezahlen ist, ist der aufsummierte Mittelwert in der definierten Leistungszeit (z.B. 15 Minuten) massgebend.

3.6 Messungen an den Entsorgungsanlagen

3.6.1 Durchgeführte Messungen und Ermittlung der Leistungen und Energien

Die Entsorgungsanlagen, also die Innenhackanlage, die Förderanlagen (Förderbänder, Kratzförderer), das Becherwerk usw., sind an verschiedenen Schaltschränken (Hauptverteilungen, Unterverteilungen) angeschlossen.

Bei zwei Abgängen wurden Langzeitmessungen durchgeführt, damit die Leistung und die Energien berechnet werden können.

Die Abbildung unten zeigt einen typischen Tagesverlauf. Am Mittag werden die Anlagen abgestellt, während der Znüni-Pause jedoch nicht.

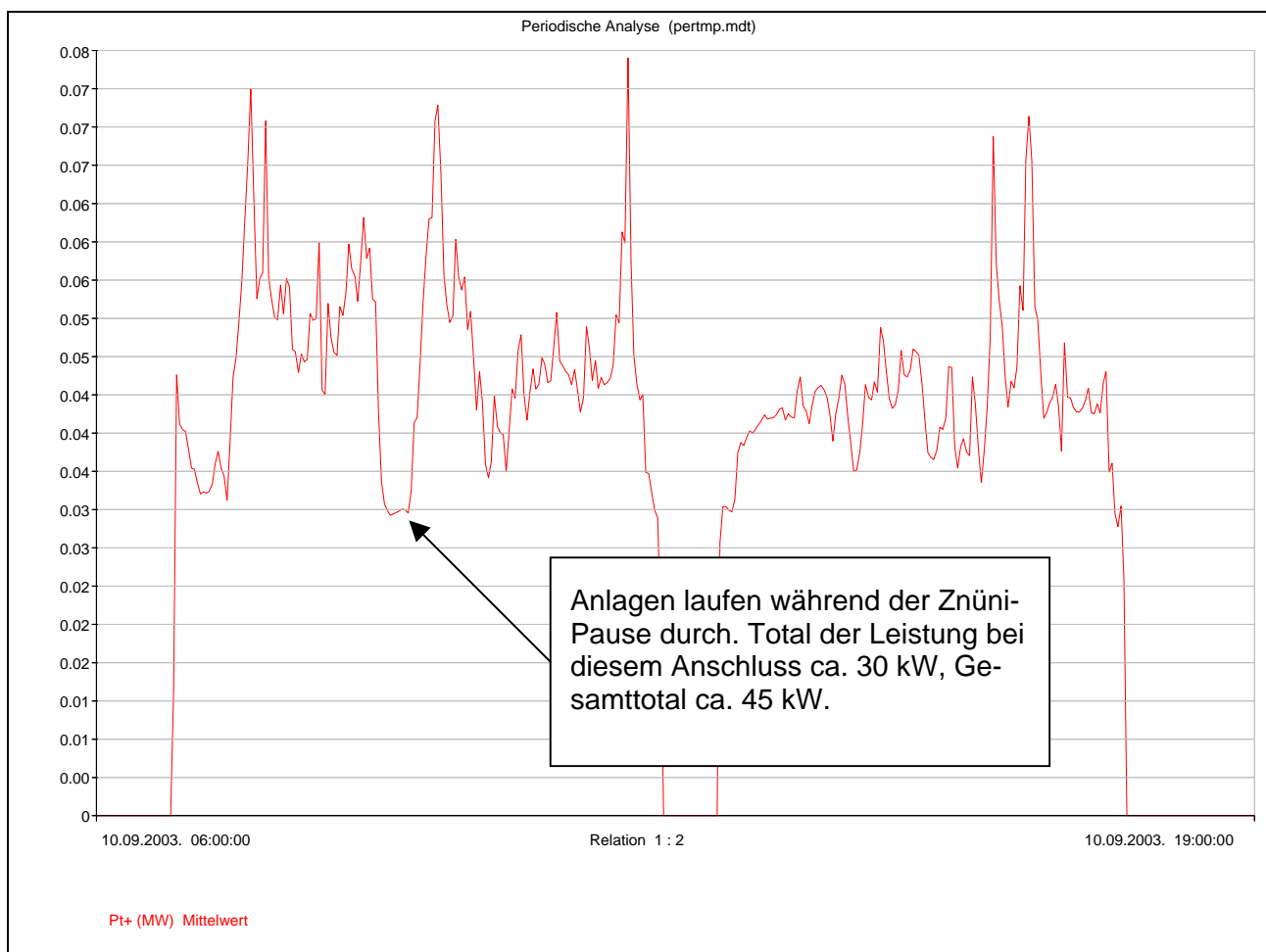


Abbildung 3.14: Typischer Tagesverlauf der Entsorgungsanlagen, welche an der HV2 angeschlossen sind.

3.7 Messungen an der Keilzinkenanlage Leimwerk 2

3.7.1 Durchgeführte Messungen

Die Keilzinkenanlage Leimwerk 2 wurde immer mit laufenden Motoren angetroffen, obwohl kein Holz verarbeitet wurde. Zudem läuft der Motor, auch wenn produziert wird, zum grössten Teil der Zeit im Leerlauf. Die Keilzinkenanlage hat vier Motoren: Zerspanermotoren 2x7.5 kW, Zinkenmotoren 2 x 50 kW, total 115 kW. Die Anlageneinheit mit einer Gesamtleistung von 115 kW gemäss Typenschild wurde ausgewählt, um die Leerlaufzyklen und die Leerlaufleistungen genauer zu untersuchen.

Das Zinkenaggregat hat eine hohe Schwungmasse (Anlauf pro Motor ca. 1.5 sec. Auslauf ca. 90 sec.). Die Zerspaner und Zinkenmotoren werden im Produktionsprozess während ca. 3-4 sec. mit einer Taktzeit von 1-2 Minuten (manchmal sogar 3-4 Min.) benötigt, die übrige Zeit laufen die Aggregate im Leerlauf. Liegen die Taktzeiten an der Anlage weiter auseinander oder sind Unterbrüche bei der Produktion vorhanden, sind die Leerlaufzeiten noch höher.



Abbildung 3.15: Keilzinkenanlage mit den beiden Zerspanermotoren. Die beiden Zinkenmotoren sind im Gehäuse unten eingebaut und im Bild nicht sichtbar.

Ein typischer Leistungsverlauf ist im nachfolgenden Diagramm zu erkennen. Die beiden Fräsmotoren mit einer Leistung von je 50 kW, total 100 kW gemäss Typenschild haben im Leerlauf eine Wirkleistung von ca. 6.7 kW.

Während des Fräsvorganges steigt die Leistung während ca. 3-4 Sekunden auf ca. 50 kW (Mittelwert). Die Leistungsspitze während eines Fräsvorganges (Maximalwert) beträgt ca. 62 kW (im nachfolgenden Diagramm ist nur der Mittelwert während der Integrationsperiode dargestellt).

Zu beachten ist, dass die Anlage für Hartholz ausgelegt ist, während der meisten Zeit im Jahr jedoch Weichholz verarbeitet wird.

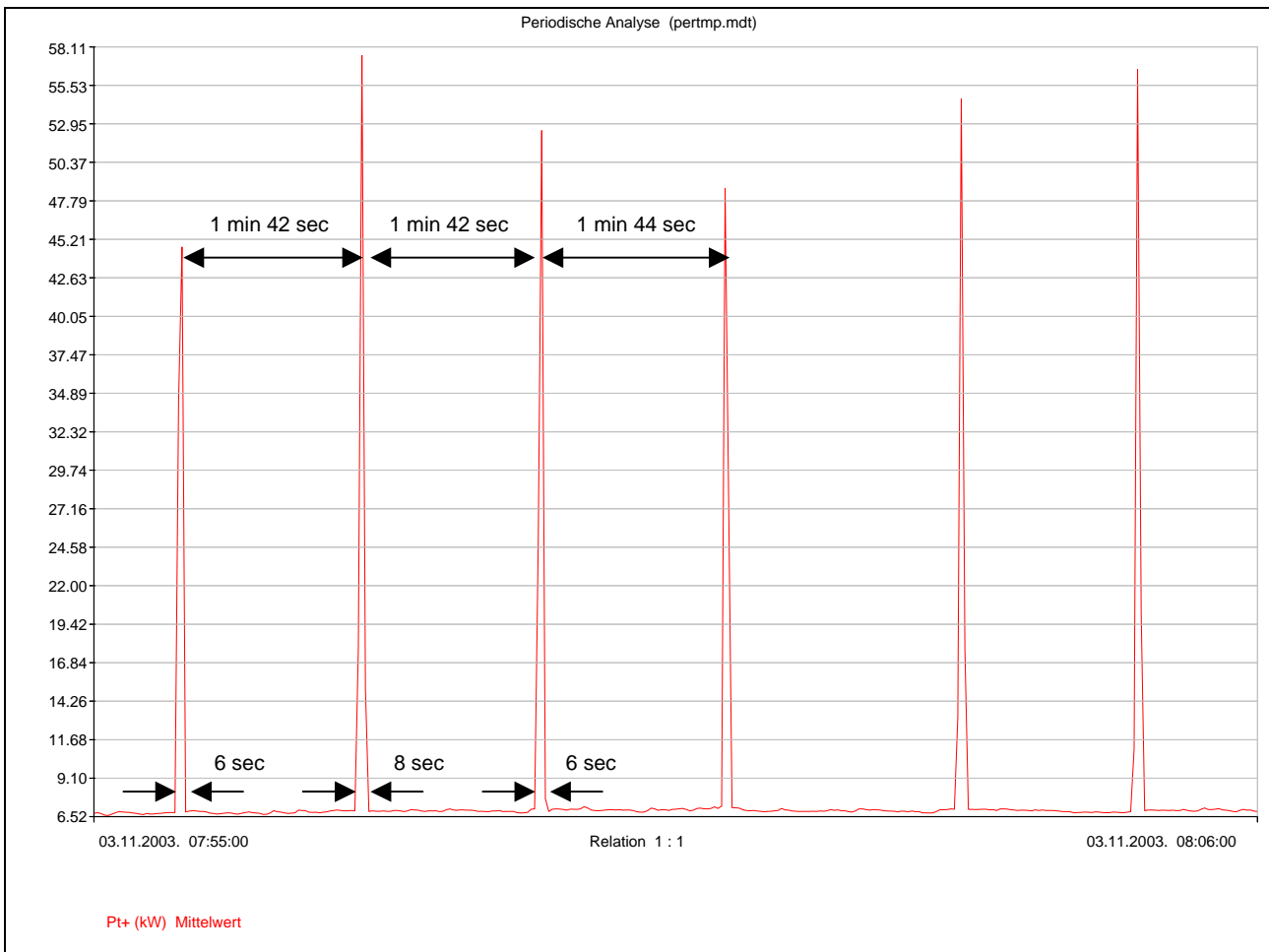


Abbildung 3.16: Leistungsverlauf (als Mittelwert) der beiden Fräsmotoren während eines Produktionszyklus. Die beiden Motoren wurden gemeinsam gemessen. Leerlaufleistung der beiden 50 kW Motoren ca. 6.7 kW. Last nur während ca. 6 Sekunden.

Der Leistungsfaktor hat im Leerlauf einen Wert von ca. 0.14. Unter Last (während der ca. 3-4 Sekunden des Fräsens) steigt er auf einen Wert von ca. 0.6 bis 0.7.

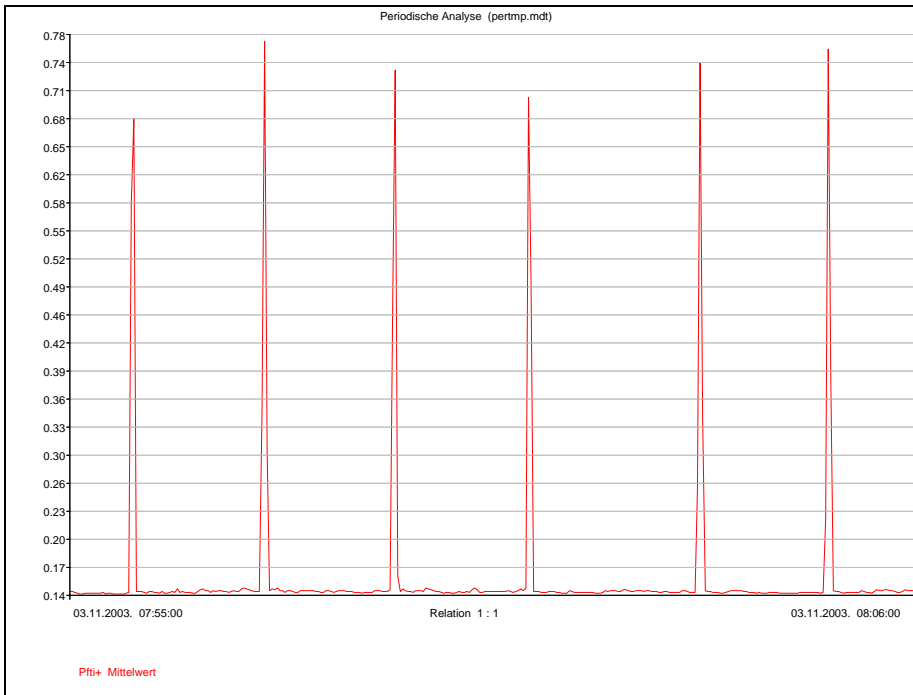


Abbildung 3.17: Leistungsfaktor (als Mittelwert) der beiden Fräsmotoren während eines Produktionszyklus. Die beiden Motoren wurden gemeinsam gemessen. Leistungsfaktor bei Leerlauf ca. 0.14. Bei Last während ca. 3-4 Sekunden ca. 0.6 bis 0.7 Last nur während ca. 3-4 Sekunden.

Zu den Leerlaufzeiten des Produktionszyklus kommen im Laufe des Tages auch noch längere Leerlaufzeiten (zum Teil bis zu 30 Minuten) dazu (z.B. wegen Maschineneinstellungen an einem anderen Ort der Produktionsstrasse), wo die Motoren ebenfalls ohne Last laufen.

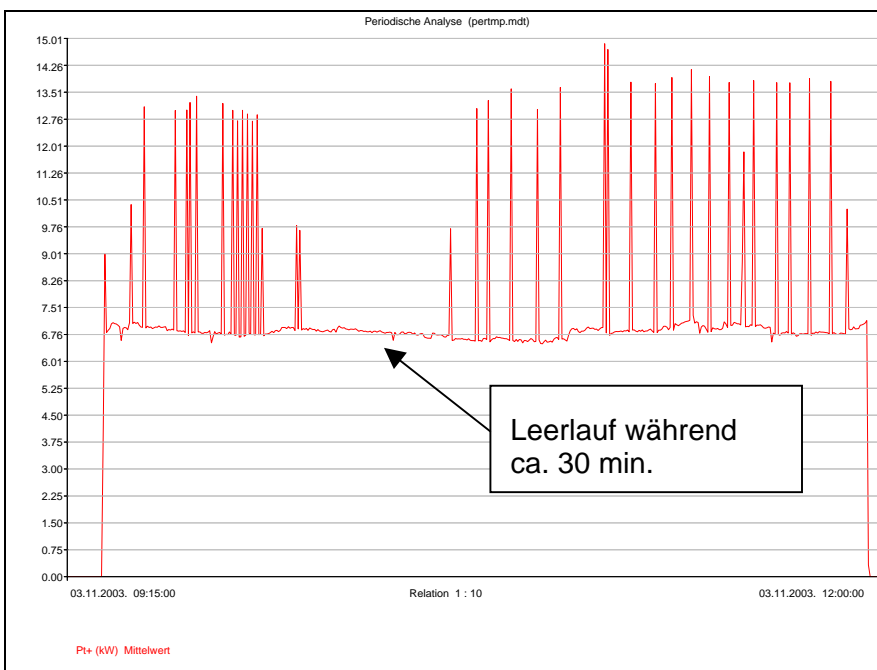


Abbildung 3.18: Mittelwert der Leistung der beiden Fräsmotoren in der Zeit von 09:15 bis 12:00 Uhr. Zu den Leerlaufzeiten des Produktionszyklus kommen noch andere Leerlaufzeiten, die bis zu 30 Minuten betragen können.

Wie erwähnt haben die beiden Fräsmotoren eine Leerlaufleistung von 6.7 kW (Typenschild total 100 kW), die beiden Zerspanermotoren 1.4 kW (Typenschild total 15 kW). Es ergibt sich eine totale Leerlaufleistung für die Betrachtungseinheit von 8.1 kW.

Der Anteil der Leerlaufzeiten ist wie folgt:

Anteil Leerlaufzeiten

29.10.2003	98.41 %
30.10.2003	95.68 %
31.10.2003	91.35 %
03.11.2003	76.36 %

Durchschnitt 90.45 %

Die Kosten für die Leerlaufzeiten der Betrachtungseinheit betragen pro Jahr ca. Fr. 1'700.-. In der Produktionsstrasse kommen noch weitere Motoren dazu wie z.B. Motoren für die Förderbänder usw.

3.8 Messungen an der Beleuchtung Leimwerk 1

3.8.1 Durchgeführte Messungen

Im Leimwerk 1 wurde die Leistungsaufnahme der Gruppe Beleuchtung gemessen (am Abgang der Hauptverteilung). Dies als Grundlage für eine Optimierung dieser Beleuchtung. Die Leistungsaufnahme beträgt ca. 6.0 kW.

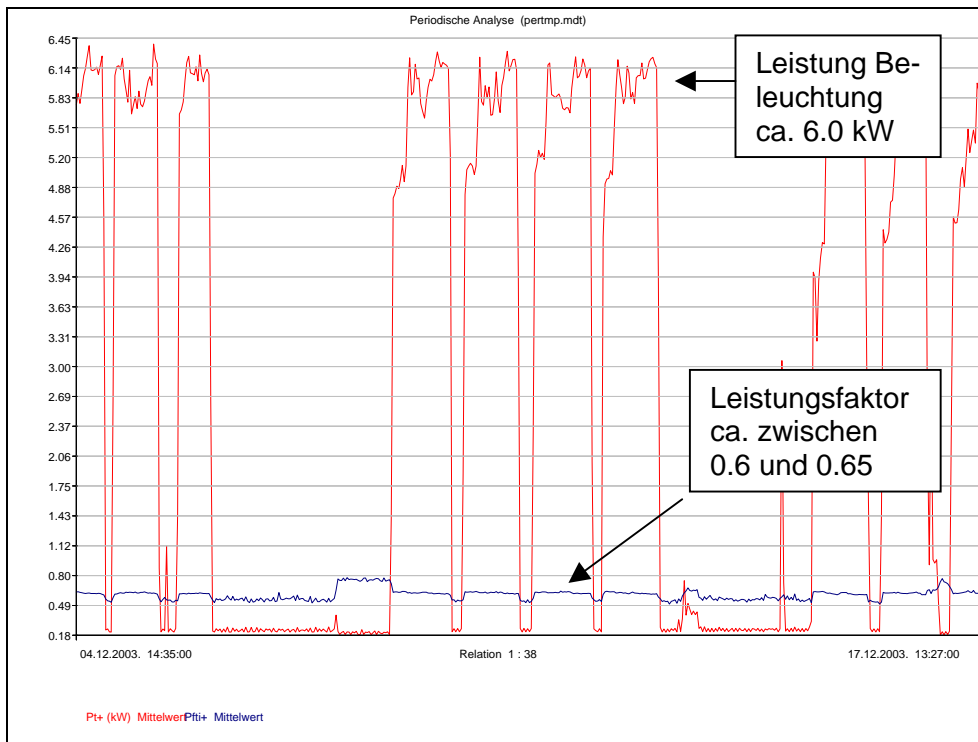


Abbildung 3.19: Grafische Darstellung Mittelwert Wirkleistung (rote Linie) und Leistungsfaktor (blaue Linie) gemessen beim Abgang Beleuchtung Leimwerk 1.

Der Leistungsfaktor liegt ca. zwischen 0.6 und 0.65.

Der Energieverbrauch am Wochenende und in der Nacht von ca. 250 W kommt von Getränkeautomaten und einem Kühlschrank. Diese Geräte sind an normalen Steckdosen angeschlossen.

Die gemessene Beleuchtungsstärke betrug im Maximum 100 Lux. An den meisten Orten lag sie darunter. Die Beleuchtung wird von den Benutzern als zu schwach empfunden.

3.9 Messungen am Haupt-Elektrozähler

3.9.1 Ausgangslage

Die Firma Schilliger Holz AG hat fünf eigene Trafostationen. Für Verrechnungen durch das energieliefernde Werk (CKW) ist ein Zähler installiert. Dieser Zähler wurde im Sommer durch einen neuen Zähler ersetzt. Die Daten und Werte können nun über das Internet abgefragt werden [c]. Für die vergangenen drei Monate September, Oktober, November des Jahres 2003 wurden Energie- und Leistungswerte abgefragt und ausgewertet. Für die Zeit vor September 2003 dienten die Daten der Stromrechnungen als Grundlage.

3.9.2 Energie und Leistung in der Vergangenheit

Eine Auswertung der Energie- und Leistungsdaten der Stromrechnungen ergab folgendes Bild:

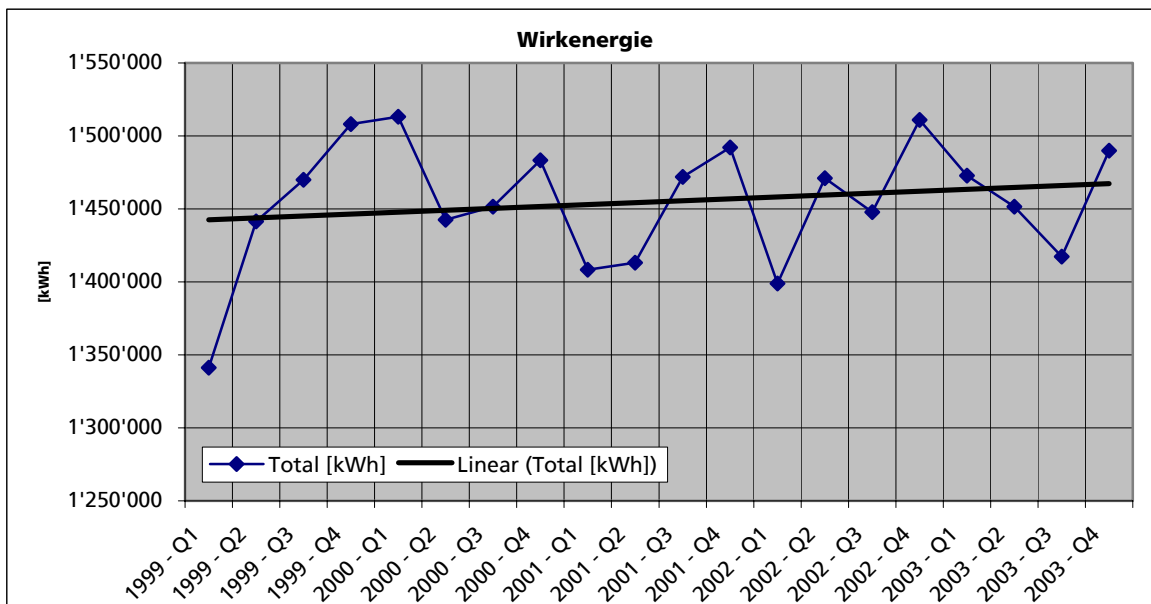


Abbildung 3.20: Wirkenenergieverbrauch pro Quartal für die Jahre 1999 bis 2003

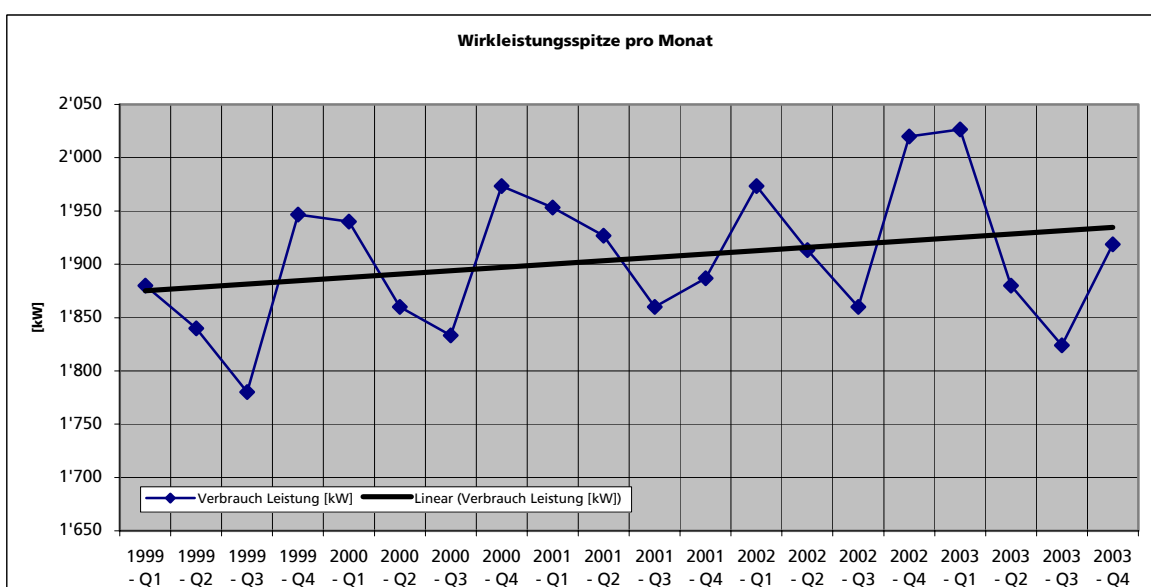


Abbildung 3.21: Wirkleistung pro Quartal für die Jahre 1999 bis 2003

Interessant ist eine Darstellung pro Quartal. Aus dieser Darstellung ist eine jahreszeitliche Abhängigkeit des Energie- und Leistungsbedarfes klar zu erkennen.

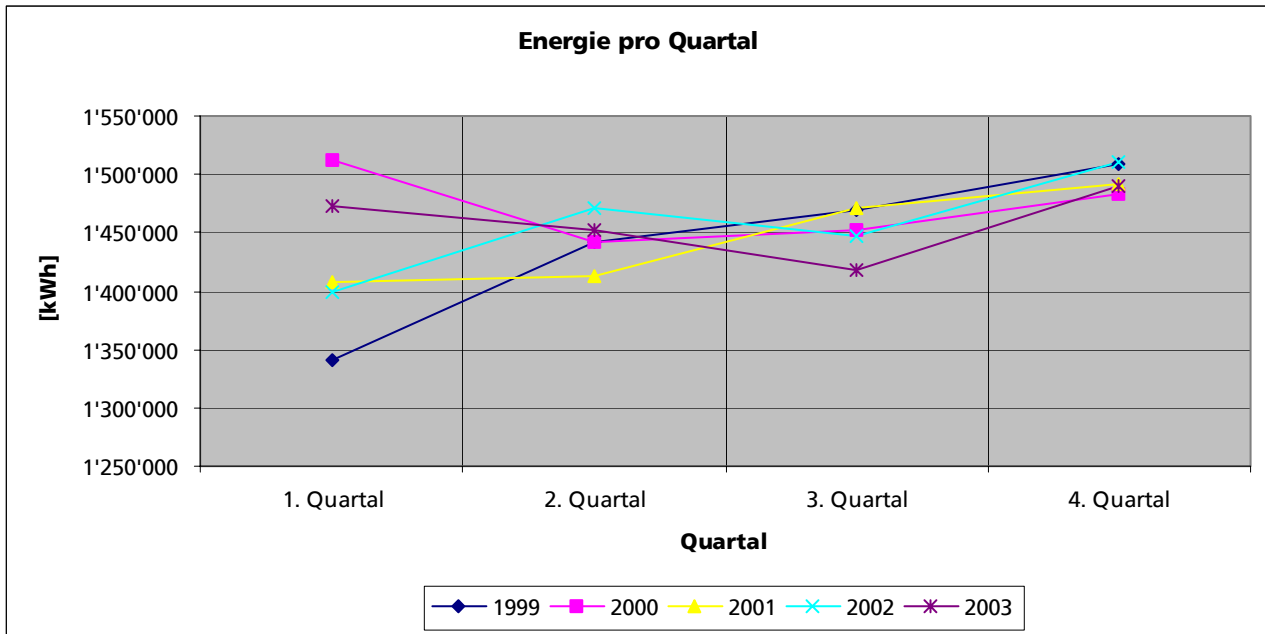


Abbildung 3.22: Wirkenergie pro Quartal für die Jahre 1999 bis 2003 (Darstellung pro Quartal)

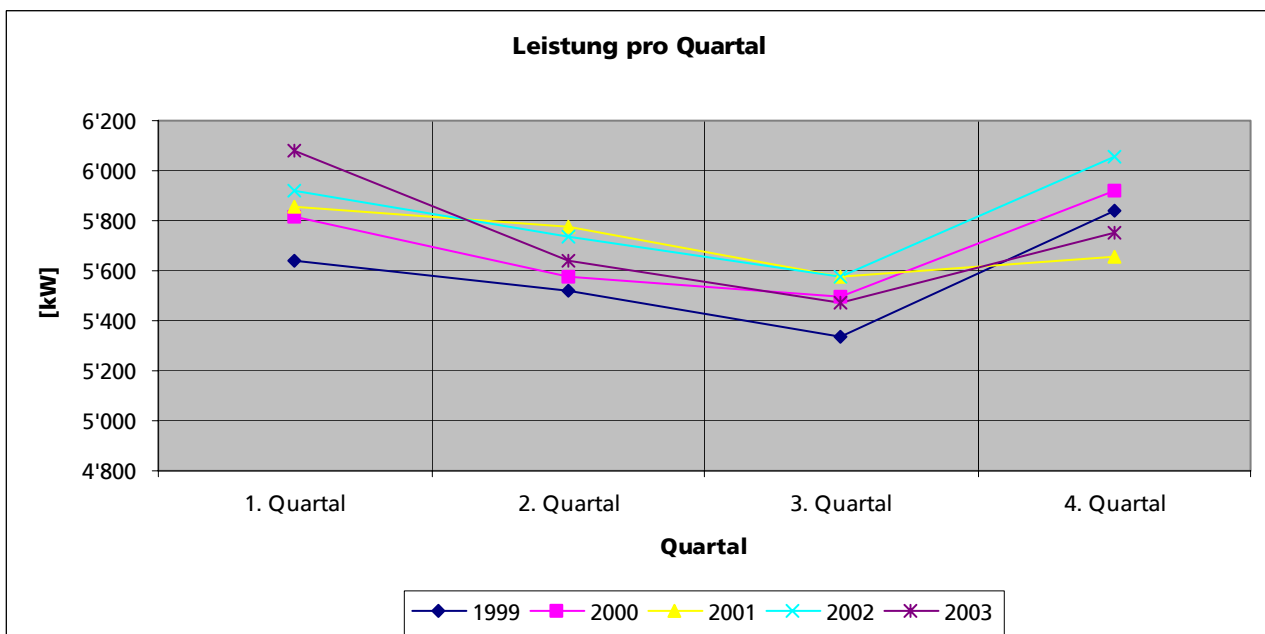


Abbildung 3.23: Wirkleistung pro Quartal für die Jahre 1999 bis 2003 (Darstellung pro Quartal)

In den Darstellungen ist eine Abnahme des Energie- und Leistungsbedarfes festzustellen, dies unter Berücksichtigung der Tatsache, dass ab ca. Herbst 2003 das Leimwerk 4 neu bezogen und in Betrieb genommen wurde.

3.9.3 Aktuelle Energie- und Leistungswerte

Die Darstellung des Energiebezuges eines Monats ergibt folgendes Bild:

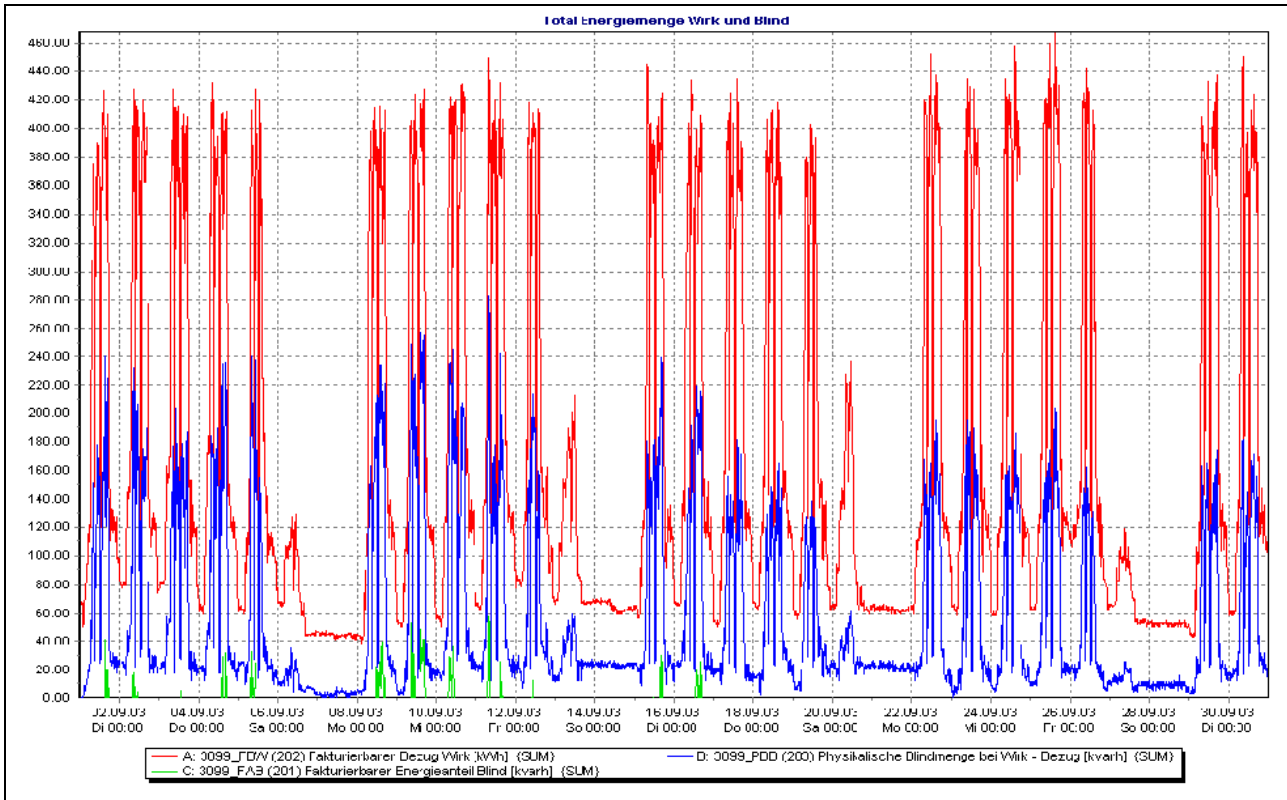


Abbildung 3.24: Wirk- und Blindenergiebezug als 15 Minutenwerte für den Monat September

Die Produktion ergibt am Tag klare Leistungsspitzen. Am Wochenende und nachts laufen nur die Trockenkammern und die Heizung.

Die grünen Linien im Diagramm sind die fakturierten Blindenergiebezüge. Die Blindstromkompensationsanlagen wurden überprüft und revidiert, so dass in den folgenden Monaten die fakturierten Blindenergiebezüge nahezu eliminiert werden konnten.

Ein typischer Werktag ergibt für die Leistung dieses Bild:

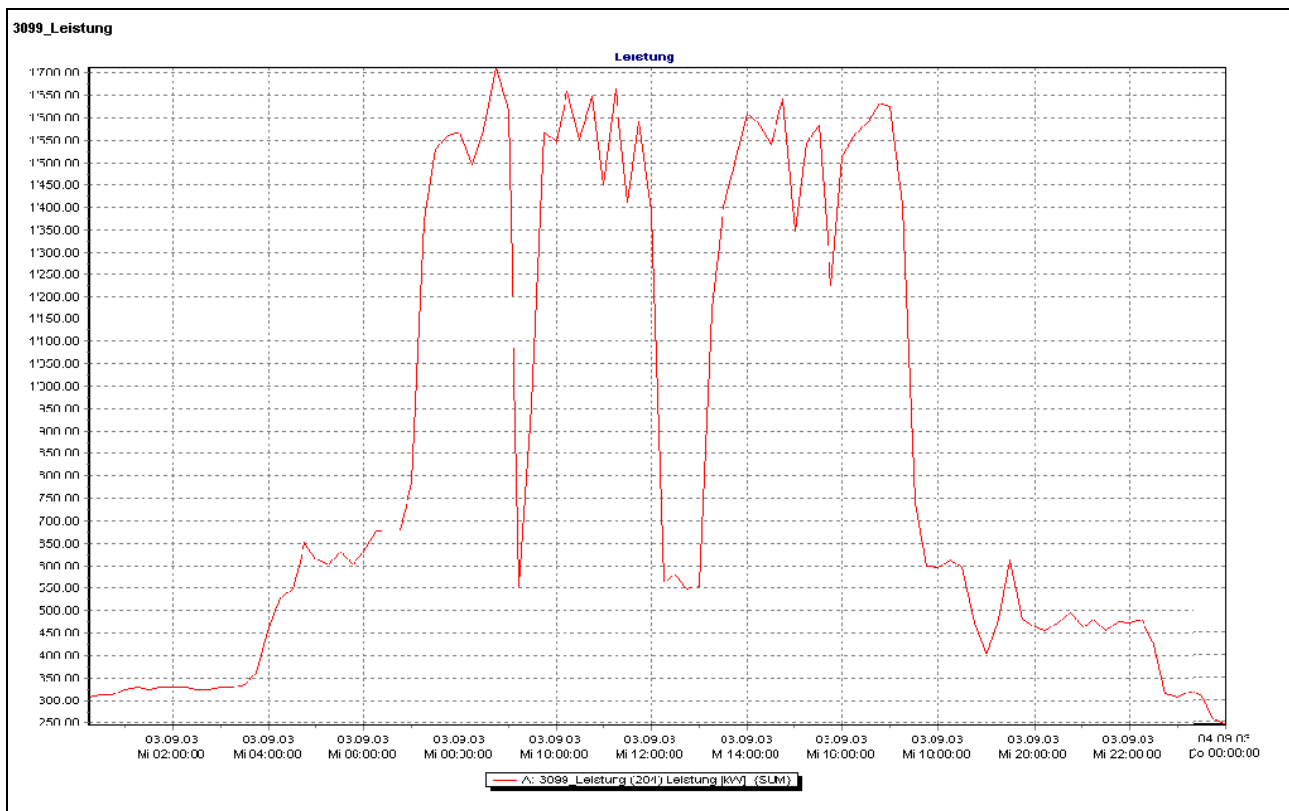


Abbildung 3.25: Wirkleistung als 15 Minutenwerte für den 03.09.2003 (Gesamtleistung aller Verbraucher)

Die Leistung in der Nacht von 250 bis 300 kW wird in den Trockenkammern und von der Heizung benötigt. Ab 04:00 Uhr wird in den Leimwerken gearbeitet. Die Znüni- und Mittagspause ist auch sehr gut zu erkennen.

4. Potential und Massnahmen

In diesem Kapitel ist die Ausgangslage beschrieben, also wie die Situation und die Anlagen ange-
troffen wurden. Dort wo Potential für Einsparungen von Elektroenergie erkannt wurde, sind Mass-
nahmen formuliert, damit eine energetische Verbesserung erzielt werden kann. Die Energieeinspar-
ungen bei der Umsetzung der Massnahmen werden pro Bereich jeweils angegeben und aufgelistet.
Auch organisatorische Massnahmen sind aufgeführt (z.B. Mitarbeiter-Sensibilisierung).

Für Kostenberechnungen wurde von einem mittleren Strompreis von 0.11 Fr./kWh ausgegangen
(Annahme). Der effektiven Kosten müssen mit dem effektiven Preis ermittelt werden.

4.1 Druckluft

4.1.1 Ausgangslage

Bevor die Leimwerke 2 und 3 an diese Kompressoren angeschlossen wurden, lief ein Kompressor
voll durch, ein Zweiter lief etwa für 2h.

Jetzt ergibt sich folgende Situation: Am Morgen (ca. 04.00 Uhr), bis das Netz gefüllt ist, laufen alle
drei Kompressoren. Am Tag laufen zwei Kompressoren (meist unter Vollast) durch (ca. 07.00 bis
18.00 Uhr). In den Pausenzeiten (Znüni und Mittag), reicht eine Maschine. Zwischen 04.00 und
07.00 sowie 18.00 und 24.00 brauchen nur die Leimwerke Luft.

Die aktuellen Betriebsstunden bei der Begehung am 19.05.2003 waren:

Kompressor	Gesamtstunden	Laststunden	Verhältnis Last / Gesamt
Kompressor 1	36'995.25 h	28'475.78 h	0.77
Kompressor 2	3'245 h *	kein Laststundenzähler	-
Kompressor 3	21'515 h	kein Laststundenzähler	-

* neuer Betriebsstundenzähler (für Gesamtstunden +ca. 16'300 h)

Die Pressostaten sind folgendermassen eingestellt:

Einschaltung	Einschaltpunkt	Ausschaltpunkt	Priorität (aktuell eingestellt)
1. Kompressor	8.5 bar	10 bar	Kompressor 1
2. Kompressor	8.3 bar	9.8 bar	Kompressor 3
3. Kompressor	8.0 bar	9.5 bar	Kompressor 2

Der erste Kompressor läuft durch (Dauerlauf), der zweite Kompressor geht bei Erreichen des Aus-
schaltpunktes in den Leerlauf und schaltet nach 3 min aus.

Die Temperatur im Kompressor - Raum wird mit einer automatischen Klappensteuerung (Abluft / Umluft) gehalten (Sollwerteinstellung im Moment auf 20°C). Im Sommer steigt die Raumtemperatur ca. 10-15°C über die Aussentemperatur.

Es wurde festgestellt, dass ein Teil der Abluft aus dem Sammelkanal durch stillstehende Kompressoren in den Raum gedrückt wird und so der Raum unnötig aufgeheizt wird. Die einzelnen Kompressoren sind also nicht mit Absperrklappen gegenüber dem Sammelkanal abgetrennt.

Mittels Messungen, Begehungen und Beobachtungen wurden folgendes festgestellt:

- In der Zentrale beim Kompressor ist ein hoher Druck erforderlich, damit beim letzten Verbraucher der erforderliche Minimaldruck erreicht wird.
- sehr hohe Leckverluste
- Das ganze Netz ist in Betrieb (unter Druck), obwohl nur Teile davon benötigt werden
- Die Bereitstellung der Druckluft (grundsätzliches Einschalten der Kompressoren) erfolgt mit einer Schaltuhr, welche bei Bedarf überbrückt werden kann.

4.1.1.1 Betriebsdruck

Die Einstellung der Pressostaten im Frühjahr 2003 war folgendermassen:

		K1 EIN	K1 AUS	K2 EIN	K2 AUS	K3 EIN	K3 AUS
Druck	[barü]	8.50	9.95	8.30	9.80	8.00	9.50
		9.23		9.05		8.75	

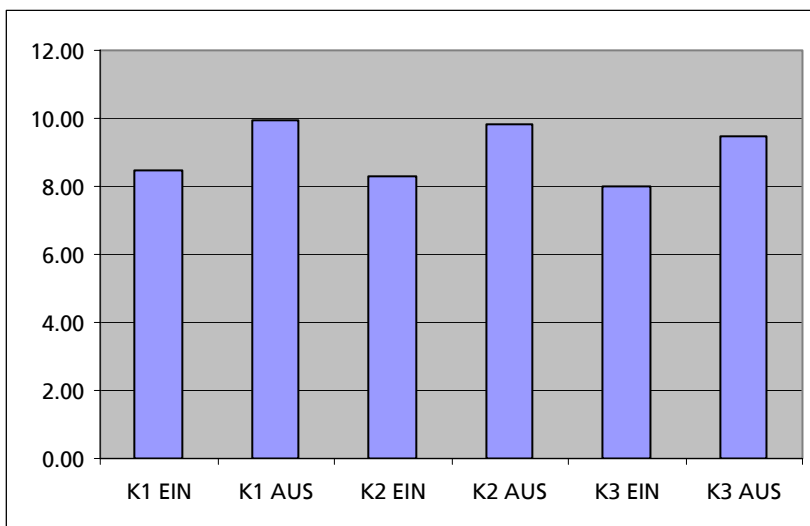


Abbildung 4.1: Einstellung der Pressostaten im Frühjahr 2003.

Bei einem durchschnittlichen Druck von ca. 8.3 barü ergeben sich Druckluftkosten und Energieverbrauch von:

	SFR.	kWh
Total	SFr. 80'481	731'651

Eine Absenkung des Betriebsdruckes um 1 bar ergibt gemäss Literatur [5, Kap. 05, Seite 5] Einsparungen von ca. 7%.

Bei einer Reduktion des Druckes von ca. 8.3 barü auf ca. 7.5 barü kann auf Grund der Messungen von folgenden Werten ausgegangen werden:

	SFR.	kWh
Total	SFr. 68'056	618'700

Der Leistungsbedarf ist ca. 4.2 % höher, jedoch steigen die Leckverluste bei höherem Druck exponential an, was im Total eine Kostendifferenz ergibt von:

	SFR.
Differenz 7.5 / 8.3 bar	SFr. 12'425

Dies entspricht (ausgehend von 7.5 bar) einem Mehrverbrauch von ca. 18%.

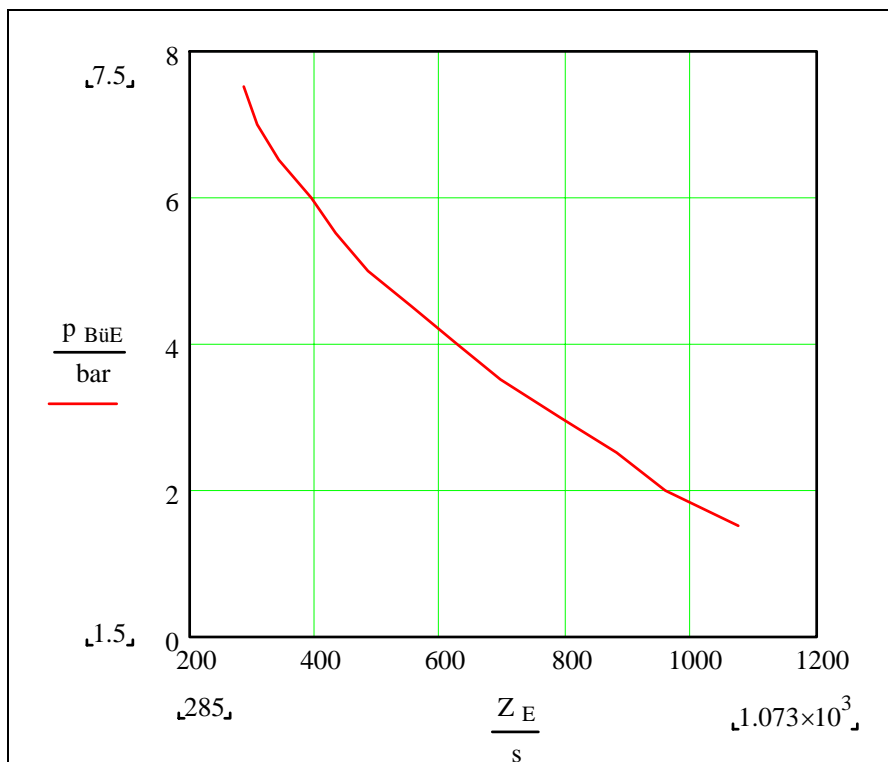


Abbildung 4.2: Druckverlauf Entladen (Messung Nr. 2). Die Kurvenform zeigt sehr deutlich den exponentiell höheren Leckverlust bei höheren Drücken. In der Grafik sind der Behälterüberdruck und die Zeit in Sekunden dargestellt.

Die eingestellten Drücke sind für jeden Fall kritisch zu überprüfen und auf den tiefst möglichen Wert einzustellen (über 6 bar ist selten erforderlich, [1, Seite 19]).

4.1.1.2 Leckverluste

Die Messungen und Abschätzungen ergaben Leckverluste von ca. 60-70 %

Die Leckverluste bei Betriebsdruck 7.5 barü am Behälter liegen bei 65%.

	SFR.	kWh	
Leckverluste	SFr. 43'929	399'353	65%
Verbrauch für Produktion	SFr. 24'127	219'347	35%
	SFr. 68'056	618'700	100%

Bei 8.3 barü liegen sie bei 69%

	SFR.	kWh	
Leckverluste	SFr. 55'339	503'084	69%
Verbrauch für Produktion	SFr. 25'142	228'567	31%
Total	SFr. 80'481	731'651	100%

Differenz 7.5 / 8.3 bar SFr. 12'425

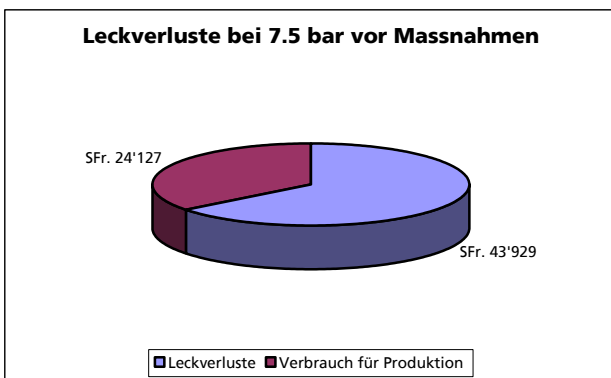


Abbildung 4.3: Aufteilung Leckverlust bei 7.5 barü Betriebsdruck am Behälter.

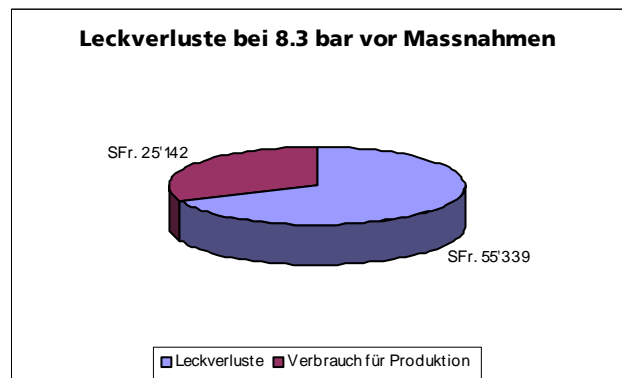


Abbildung 4.4: Aufteilung Leckverlust bei 8.3 barü Betriebsdruck am Behälter.

4.1.2 Massnahmen und Einsparpotential Druckluft

Die als Prozentzahlen angegebenen Werte sind bezogen auf die Betrachtungseinheit.

Betrachtungseinheit: Druckluftherzeugung ohne Aufbereitung. Die Einsparungen beziehen sich nur auf die Elektroenergiekosten. Weitere Einsparungen (z.B. Instandhaltungskosten) wurden nicht berücksichtigt. Sie verbessern das Resultat.

Die abgeschätzten Energiekosten pro Jahr für die Druckluftherzeugung beziehen sich nur auf den Elektrizitätsverbrauch (ohne Aufbereitung wie z.B. Trocknung, die Druckverluste der Filtration sind jedoch eingerechnet). Ebenfalls nicht eingerechnet, sind die Leistungskosten Elektro.

Gesamtenergieverbrauch Betrachtungseinheit 731'651 kWh

Elektroenergiekosten Betrachtungseinheit 80'481 SFr.

Beschreibung der Massnahme	voraussichtliche Einsparungen		Investition, Amortisation, Ertrag			Massnahme ausgeführt
	Kosten [SFr]	Energie [kWh]	Investition [SFr]	Amortisationszeit ^{*1} [Jahre]	Zinsertrag ^{*2} [%]	
Absenkung des Betriebsdruckes von ca. 8.3 auf ca. 7.5 barü	12'425.- 15%	112'951 15%	1'000.-	0.08	1'233 %	ja, Mai 2003
Eliminieren der Leckverluste von 100% auf voraussichtlich 33.3%	29'286.- 36%	266'236 36%	43'250.-	1.47	7%	ja, von August 2003 bis Januar 2004
automatische Absperrklappe für Netzabsperrungen mit Schalter Druckluftbedarf in Zonen einbauen	4'875.- 6%	44'326 6%				Die Umsetzung der Massnahme ist in der Planung ausgelöst.
neue Hauptleitung für die Erschliessen der Zonen						
Kompressor mit FU-Regulierung und Kompressorleitsystem	ca. 10'000.- 12%	ca. 90'900 12%	70'000.-	7.0	4%	Die Ausführung der Massnahme ist vorgesehen, jedoch noch nicht terminiert.

Beschreibung der Massnahme	voraussichtliche Einsparungen		Investition und Nutzen			Massnahme ausgeführt
	Kosten [SFr]	Energie [kWh]	Investition [SFr]	Amortisationszeit ^{*1} [Jahre]	Zinsertrag ^{*2} [%]	
Optimierung des Adsorptionstrockners (Druckverlust)	ca. 4'100.- 5 %	ca. 37'650				Die Ausführung der Massnahme ist vorgesehen, jedoch noch nicht terminiert.
Möglichkeiten für ein Energiecontrolling schaffen (Elektrozähler für Druckluftbereich)	ca. 1'000.- 1 %	ca. 9'000				Die Ausführung der Massnahme ist vorgesehen, jedoch noch nicht terminiert.
<p>Organisatorische Massnahmen:</p> <p>- Mitarbeiter-Information: Die Mitarbeiter müssen sich bewusst sein, wie teuer Druckluft ist.</p> <p>- Die Erkennung, Erfassung und Behebung der Leckstellen muss als kontinuierlicher Prozess in den Arbeitsalltag integriert werden ^{*3}.</p>	<p>ca. 482.- Als Abschätzung 2% des Druckluftbedarfes für die Produktion (ohne Lecks).</p> <p>ca. 732.- Als Abschätzung 5% der Leckverluste nach Sanierung</p> <p>Total ca. 1'214.- 1%</p>	<p>ca. 4'287</p> <p>ca. 6'589</p> <p>Total ca. 10'876 1%</p>	<p>Diese Massnahme kann nicht einzeln mit Messungen quantifiziert werden.</p> <p>Diese Massnahme kann nicht einzeln mit Messungen quantifiziert werden</p>			<p>Ausgeführt. An die Mitarbeiter wurde ein Informationsblatt "Kosten durch Druckluftlecks" abgegeben.</p>

Beschreibung der Massnahme	voraussichtliche Einsparungen		Investition und Nutzen			Massnahme ausgeführt
	Kosten [SFr]	Energie [kWh]	Investition [SFr]	Amortisationszeit ^{*1} [Jahre]	Zinstrag ^{*2} [%]	
weitere Massnahmen: Belüftung / Wärmeabfuhr im Kompressorenraum optimieren Wärmerückgewinnung (z.B. für Schärferei)						
Gesamt-Einsparung Betrachtungseinheit	62'900.-^{*4} 78%	571'939^{*4} 78%				

Tabelle 4.1: Massnahmen und Einsparpotential Druckluftanlagen

^{*1} Die Amortisationszeit wurde als einfaches Verhältnis der Investition gegenüber der Einsparung gerechnet. Eine Verzinsung des investierten Kapitals wurde nicht berücksichtigt.

^{*2} Wenn Fr.100.- auf der Bank zu 5% verzinst werden, erhält man Ende Jahr Fr. 5.- als Zinsbetrag. Wird eine Stromsparmassnahme realisiert, welche pro Jahr Fr. 100.- kostet (eine Lebensdauer von einem Jahr hat) und Einsparungen pro Jahr von Fr. 120.- ergibt, so erhält man die investierten Fr. 100.- zurück und dazu noch Fr. 20.-, was einem Zins von 20% entsprechen würde. (Als Berechnung einfache Verhältnisbildung: (((Lebensdauer der Massnahmen * Einsparungen)- Investitionskosten) / Investitionskosten) / Lebensdauer [%] pro Jahr, ohne Berücksichtigung von Zinseszinsen.)

^{*3} Leckstellen werden am ehesten vor Arbeitsbeginn und nach Arbeitsende (bei abgestellten Produktionsanlagen) durch das Betriebspersonal (z.B. Maschinisten) erkannt (Produktionslärm). Sie sind sie dem Instandhaltepersonal kontinuierlich zu melden. Als organisatorische Unterstützung wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

Leckstellen sind mit einem (speziellen) auffälligen Band zu markieren und z.B. mit einem (eventuell vorgedruckten) Meldezettel in festgelegter (einfacher) Weise zu melden. Durch diese Massnahme kann das Instandhaltepersonal die Leckstellen auch bei grossem Produktionslärm finden und reparieren und muss die Arbeiten nicht an produktionsfreien Tagen (z.B. Samstag) ausführen.

^{*4} Die im Kapitel Leckverluste angegebenen Verbrauchszahlen für die Produktion können ebenfalls reduziert werden, da sich auch in der Produktionszeit die Kompressor-Leerlaufzeiten verringern.

Als weitere Massnahmen können genannt werden:

- Druckluftbedarf bei Maschinen senken. Beispiel 1: Die Druckluftzylinder für die Niederhalter und die Zentrierung bei der Profilerspanneranlage sind bedarfsgerecht ein- und auszuschalten (es müssen nicht immer alle eingeschaltet sein). Beispiel 2: Hubbegrenzungen ausführen.
- Oft wird Druckluft für Reinigungszwecke verwendet (abblasen von Maschinen usw.). Alternativ können Späne und Sägemehl abgesaugt (Anschluss an Absauganlage wie mit einer zentralen Staubsaugeranlage) oder mit einem Besen weggewischt werden. Wird dennoch Druckluft zum Abblasen verwendet, sollten optimierte Druckluftpistolen eingesetzt werden (spezielle Druckluft sparende Düsen, mit einem Sekundärluftstrom).
- Verwenden von Druckluftkupplungen mit geringerem Druckverlust
- Anderes Antriebsmedium an Stelle von Druckluft wählen, z.B. Elektromotor oder Hydraulik.

Die Absperrung von einzelnen Bereichen des Druckluftnetzes erleichtert ebenfalls das Nebeneinander von Produktion und Instandhaltung.

4.2 Absauganlagen

4.2.1 Ausgangslage

Bei den Absauganlagen, wie sie bei der ersten Begehung zu Beginn des Jahres 2003 angetroffen wurden, sind folgende Punkte aufgefallen, welche einen erhöhten Elektro - Energiebedarf zur Folge haben:

- Sehr lange Leitungslängen. Durch das historisch gewachsene Areal auch keine direkte Leitungsführung (viele Bögen)
- Einstufiger, unregelmässiger Dauerbetrieb der Ventilatoren
- Durch das verzweigte, lange Netz mehrere Ventilatoren in Serie
- Absauganlagen laufen, auch wenn sie nicht gebraucht werden und einfach abgeschaltet werden könnten (z.B. läuft die Spanabsaugung der Profilerspanneranlage mit 2 x 22kW-Motoren während der Zünipause durch: 2'860 kWh pro Jahr)
- Absaugstellen unregelmässig, das heisst es wird dauernd Luft an der Absaugstelle abgeführt, obwohl kein Holzstaub durch die Produktion anfällt
- Ventilatoren in der Schmutzluft platziert

Vom Betreiber wurden folgende Nachteile der Absauganlage angegeben:

- Absauganlage sehr weit (ca. 150m)
- Die Rohrführung läuft über unzählige Ecken und braucht zusätzliche Ventilatoren
- Die Absaugung der Maschinen im Leimwerk 1 ist schlecht gelöst. Sobald eine Maschine läuft muss die Absaugung der anderen Maschinen auch laufen, andernfalls werden die Späne in die beiden anderen Maschinen zurückgeblasen.
- Das Leimwerk 2 hat einen Bunker, der alle 1-3 Tage durch einen LKW einer Fremdfirma geleert wird

Es sind bereits konkrete Überlegungen für die Optimierung dieser Situation vorhanden.

Folgende Punkte ergeben einen energiesparenden Betrieb der Absauganlagen:

- Absaugventilator reinluftseitig, also nach der Filteranlage (dies hat den weiteren Vorteil, dass das gesamte Luftnetz im Unterdruck ist)
- wählen eines Reinluftventilators mit gutem Wirkungsgrad
- kurze Distanzen des Absaugnetzes
- Optimierung des Rohrnetzes bezüglich Druckverlust: so wenig Formstücke, z.B. Bögen, wie möglich. Bögen mit grossem Radius verwenden. 45° Bögen verwenden. Strömungsgünstige Einführungen (z.B. 45°) verwenden.
- Optimierung des Rohrnetzes bezüglich Luftgeschwindigkeit
- Auslegung des Rohrnetzes und Ventilatorwahl bei idealem Betriebspunkt
- Filtergewebe der Filter in der Filteranlage mit geringem Druckverlust (Filterwiderstand)
- Bedarfsgerechte Absaugung (also Klappen bei den Absaugstellen, die öffnen, wenn Staub vom Produktionsprozess anfällt und die schliessen, wenn kein Staub anfällt). Dadurch kann auch mit einer Gleichzeitigkeit gerechnet werden, welche die Luftmenge reduziert. Das führt dazu, dass so alle Komponenten der Anlage (von den Rohren bis zum Ventilator) kleiner dimensioniert werden können
- Stufenlose Regulierung des Abluftventilators mittels Frequenzumformer und Differenzdruckregulierung (um die Mindestluftgeschwindigkeit in den Luftleitungen einzuhalten, muss das Netz für einen bedarfsgerechten Betrieb respektive für FU - Betrieb gebaut sein!)
- Rückführung der sauberen Abluft zurück in den Produktionsraum (dadurch wird dem Raum im Winter keine warme und im Sommer keine kühle Raumluft entzogen). In der Wärme steckt auch Elektroenergie, darauf wird in einem späteren Kapitel eingegangen.
- Klare, einfache Konzepte ohne Abhängigkeiten (für spätere Erweiterungen und Zusammenschlüsse)

Es ist zu überlegen, ob die Antriebe der automatischen Absperrklappen bei den Absaugstellen pneumatisch ausgeführt werden sollen oder elektrisch. Vorteile eines elektrischen Antriebes sind:

- weniger teure Antriebsenergie
- keine Gefahr von Druckluftlecks
- weniger hohe Investitionskosten, da nicht beide Medien (Druckluft und Strom) zum Antrieb geführt werden müssen.
- Geringere Instandhaltungskosten, da nicht beide Medien gewartet werden müssen

Die Vor- und Nachteile, sowie die Investitions- und Betriebskosten sind abzuwägen.

4.2.2 Bedarfsgerechte Absaugungen

Im Kapitel Messungen wurde aufgezeigt, dass sich die aufgenommene Leistung für die Ventilatoren bei der Produktionslinie der Keilzinkenanlage bei bedarfsgerechtem Betrieb um bis zu 50% reduziert.

Mit einer Ventilator Kennlinie (siehe Bild auf der nächsten Seite) und / oder der Beziehung

$$P = \frac{V \cdot \delta p}{\eta} \quad \text{Gemäss [17, Seite 974]}$$

P	=	Leistungsbedarf des Ventilators [W]
V	=	Volumenstrom [m ³ /s]
dp	=	Gesamtdruckerhöhung (statisch und dynamisch) [Pa]
η	=	Gesamtwirkungsgrad des Ventilators [-]

kann dieses Resultat nachvollzogen werden. Die Netzkennlinie wandert auf der Ventilator Kennlinie gegen links.

Auf der folgenden Seite sind in einem Ventilator Kennlinien-Blatt Beispiele mit eingezeichneten Betriebspunkten eingefügt.

Bemerkungen zu dieser Kennlinie:

- Vom gemessenen Ventilator war keine passende Kennlinie verfügbar.
- Der Wirkungsgrad des gemessenen Ventilators war schlechter als der Ventilator auf der folgenden Seite.
- Die Netzkennlinie ist nicht eingezeichnet.

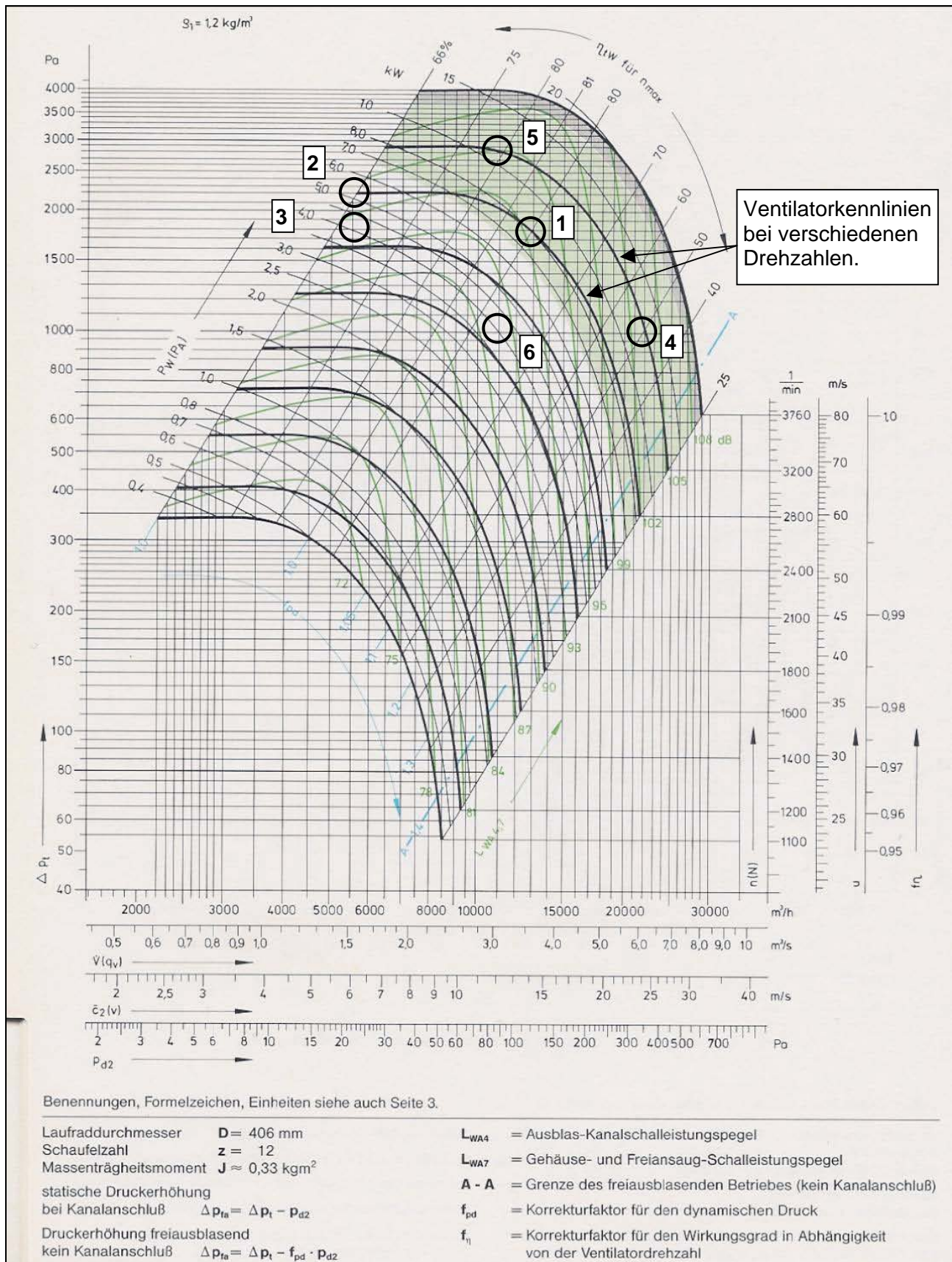


Abbildung 4.5: Beispiel einer Ventilator Kennlinie für einen Ventilator Gebhard RZR .. -0400 mit eingezeichneten Betriebspunkten. Kennlinie aus [18, Seite 28].

Punkt 1

Volumenstrom	12'000m ³ /h
Gesamtdruckerhöhung	1'900 Pa
Wirkungsgrad	ca. 80%
Leistungsbedarf	ca. 8 kW

Punkt 2

Volumenstrom	5'700m ³ /h
Gesamtdruckerhöhung	2'200 Pa
Wirkungsgrad	ca. 66.0%
Leistungsbedarf	ca. 5.2 kW

Bei Verwendung eines Frequenzumformers mit Konstantdruckregulierung würde sich der Leistungsbedarf noch einmal auf ca. 4.1 kW reduzieren (Punkt 3).

Je nach Kennwerten der Anlage, je nach eingesetztem Ventilator und dessen der Kennlinie (Steilheit), können die Werte ganz anders aussehen. Dazu das ein zweites Beispiel:

Punkt 4

Volumenstrom	22'000m ³ /h
Gesamtdruckerhöhung	1'000 Pa
Wirkungsgrad	ca. 49%
Leistungsbedarf	ca. 12.5 kW

Punkt 5

Volumenstrom	11'000m ³ /h
Gesamtdruckerhöhung	2'820 Pa
Wirkungsgrad	ca. 79.0%
Leistungsbedarf	ca. 10.9 kW

Punkt 6 (mit FU)

Volumenstrom	11'000m ³ /h
Gesamtdruckerhöhung	1'000 Pa
Wirkungsgrad	ca. 77.0%
Leistungsbedarf	ca. 4.0 kW

In diesem Beispiel reduzierte sich die Leistungsaufnahme bei Verwendung eines Frequenzumformers mit Konstantdruckregulierung auf 30% (von 12.5kW auf 4.0 kW).

Die Absauganlage (Netz, Druckverluste usw.), der eingesetzte Ventilator, die Betriebspunkte und die Regelstrategie sind auf einander abzustimmen und für jede Anlage durch einem Fachmann mit Fachwissen und Praxiserfahrung korrekt aus zulegen und in Betrieb zu nehmen.*1

*1 Weitere Angaben dazu im Kapitel "Hinweise für eine bedarfsgerechte FU-regulierte Absaugung".

Wie sieht nun die konkrete Umsetzung für die Produktionslinie Keilzinken aus?

Die Ventilatoren sind schmutzlufseitig vor dem Filter platziert. Die vier Absaugstellen

- a) Vorhobelmaschine
- b) Fehlerkappsäge
- c) Keilzinke
- d) Längenkappsäge

sind in gemeinsamen Rohren zusammengeführt.

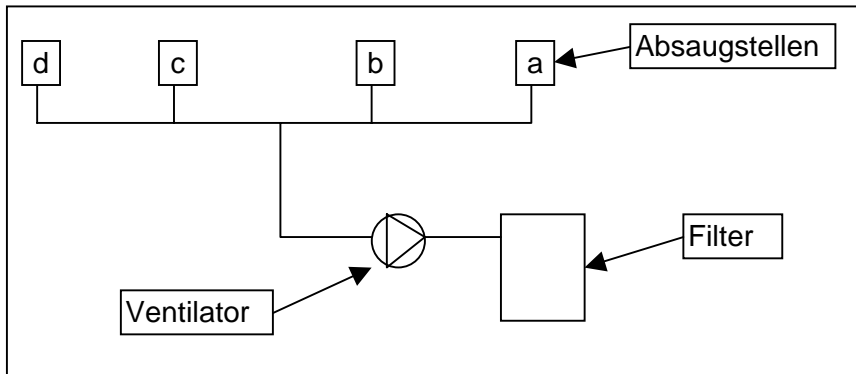


Abbildung 4.6: Prinzipskizze Absauganlage Produktionslinie Keilzinken.

Werden nun die Absaugstellen Vorhobler und Keilzinke abgesperrt (X), reduziert sich die Luftmenge, der Betriebspunkt wandert auf der Ventilator Kennlinie gegen links (gegen die Nullförderhöhe) und die aufgenommene Leistung reduziert sich (gemäss Messung bis ca. 50%, wenn beide Stellen abgesperrt sind).

Es reduziert sich jedoch auch die Luftgeschwindigkeit in den gemeinsamen Rohren, was dazu führt, dass der Materialtransport nicht mehr gewährleistet ist.

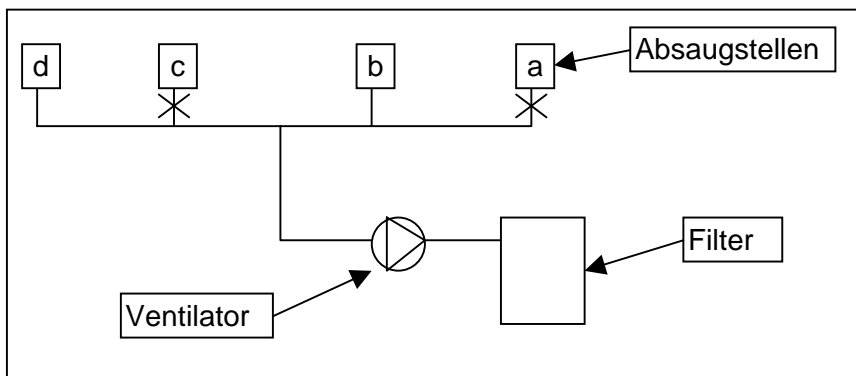


Abbildung 4.7: Prinzipskizze Absauganlage Produktionslinie Keilzinken mit abgesperrten Absaugstellen.

Die Anlage muss folgendermassen umgebaut werden:

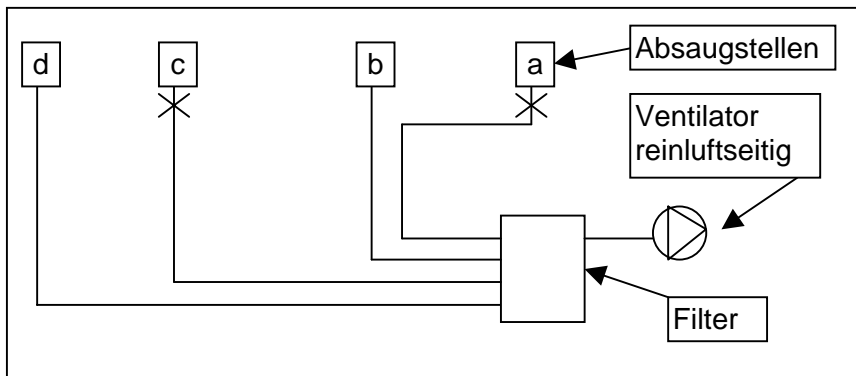


Abbildung 4.8: Prinzipskizze Absauganlage Produktionslinie Keilzinken mit abge-sperrten Absaugstellen.

Werden nun die Absaugstellen abge-sperrt, bleibt die Mindestluftgeschwindigkeit in den nicht abge-sperrten Rohren erhalten und das Material kann jederzeit bis in den Filter gelangen.

Eine bedarfsgerechte Absaugung lohnt sich und es ergeben sich daraus grosse Energie-einsparungen! Die Anlage ist jedoch so zu bauen, dass die Mindestströmungsgeschwindigkeiten für den Materialtransport eingehalten werden!

Hinweise zu den Absaugstellen

Hobelmaschinen benötigen 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 können die Abluftöffnungen teilweise abgedeckt werden. [1, Seite 18]

Dadurch reduzieren sich die Luftmengen mit den vorgängig beschriebenen positiven Auswirkungen. Die Mindestluftgeschwindigkeiten müssen jedoch vorhanden sein.

4.2.3 Rückführung der sauberen Abluft zurück in den Produktionsraum

Wird die dem Raum entnommene Abluft nicht in den Raum zurückgeführt, entsteht im Raum ein Unterdruck und die Luft strömt aus Nachbarräumen oder aus dem Freien in den Produktionsraum.

Wird die Luft nicht zurückgeführt entspricht die Menge der nachströmenden Luft genau der dem Raum entnommenen Luftmenge (Abluft).

Diese Luftmenge muss im Winter erwärmt werden. An einem normalen Wintertag von z.B. +5°C auf die Raumtemperatur von z.B. 15°C, an einem kalten Wintertag von z.B. -5°C auf die Raumtemperatur. Da keine Wärmerückgewinnung vorhanden ist, muss die volle Wärmeleistung im Raum für die Lufterwärmung erbracht werden.

Um 1'000 m³/h Aussenluft auf eine Raumlufttemperatur von 15°C respektive 20°C zu erwärmen wird folgende Leistung benötigt:

Aussenluft-Temperatur [°C]	Raumluft-Temperatur [°C]	Wärmeleistung bei t _R 15°C [W/(1'000 m ³ /h)]
-10	15	8'874
-8	15	8'103
-5	15	6'968
5	15	3'361
10	15	1'652

Raumluft-Temperatur [°C]	Wärmeleistung bei t _R 20°C [W/(1'000 m ³ /h)]
20	10'649
20	9'865
20	8'711
20	5'042
20	3'304

Der Energiebedarf, um 1'000 m³/h Aussenluft von Aussentemperatur auf die Raumtemperatur von 15°C respektive auf 20°C zu erwärmen, beträgt pro Jahr:

Raumluft-Temperatur [°C]	Jahresenergiebedarf bei t _R [kWh/(1'000 m ³ /h)]
15	20'092
20	32'162

Der Rechengang für die Ermittlung der Leistung und des Energiebedarfes ist im Anhang erläutert.

Im Leimwerk 1 ist keine Rückführung der Abluft ausgeführt. Für dieses Werk, mit einer Gesamtluftmenge von 22'100 m³/h ergibt dies ein Leistungsbedarf bei -8°C von

$$Q = 22'100 \text{ m}^3/\text{h} \times 9'865 \text{ W}/(1'000 \text{ m}^3/\text{h}) = \mathbf{218'017 \text{ W}}$$

und ein Jahreswärmeenergiebedarf von

$$E = 22'100 \text{ m}^3/\text{h} \times 32'162 \text{ kWh}/(1'000 \text{ m}^3/\text{h}) = \mathbf{710'780 \text{ kWh}}$$

Bei einem angenommenen Wärmepreis von 1.0 Rp / kWh verursacht dies Wärmeenergiekosten von Fr. 7'108.-

In diesem Jahreswärmeenergiebedarf stecken 3'543 kWh Elektroenergie (nur Wärmeerzeugung, keine Wärmeverteilung). Mit dieser Elektroenergie könnte ein Vier-Personen Haushalt ca. ein halbes Jahr lang versorgt werden.

Bei der Rückführung der sauberen Abluft zurück in den Produktionsraum (Umluftbetrieb) sind die Hinweise im Kapitel "Hinweise zum Anlagenbau und zur Auswahl von Komponenten" zu beachten.

4.2.4 Massnahmen und Einsparpotential Absauganlagen

Folgende Massnahmen sind vorgesehen:

- Ersatz der Absauganlage im Leimwerk 1 durch eine neue Anlage. Die neue Anlage hat einen reinluftseitigen Absaugventilator, druckgesteuert mit FU. Bei den Verbrauchern (Absaugstellen) sind Absperrklappen eingebaut.
- Umbau der Absaugung Leimwerk 2 und Sägerei auf bedarfsgerechten Betrieb.

Betrachtungseinheiten: Ventilatoren der Absauganlagen der einzelnen Werke, nur Elektroenergieverbrauch (z.B. Verbrauch der Absaugventilatoren im Leimwerk 2). Abreinigung der Filter in den Silos, Spänetransport zu den Hauptsilos usw. sind nicht berücksichtigt. Die Leistungskosten sind berücksichtigt und in den Kostenangaben enthalten.

Gesamtenergieverbrauch Ventilatoren Leimwerk 1	322'320 kWh
Elektroenergiekosten Ventilatoren Leimwerk 1	40'480 SFr.
Gesamtenergieverbrauch Ventilatoren Leimwerk 2	191'760 kWh
Elektroenergiekosten Ventilatoren Leimwerk 2	24'083 SFr.
Gesamtenergieverbrauch Ventilatoren Sägerei	75'480 kWh
Elektroenergiekosten Ventilatoren Sägerei	10'656 SFr.

Beschreibung der Massnahme	voraussichtliche Einsparungen		Investition, Amortisation, Ertrag			Massnahme ausgeführt
	Kosten [SFr]	Energie [kWh]	Investition [SFr]	Amortisationszeit [Jahre]	Zinsertrag [%]	
Ersatz der Anlage Leimwerk 1	26'908 66%	229'959 71%	140'000.-	5.2	9%	Dieser Ersatz ist im Herbst 2004 vorgesehen.
Absauganlage Leimwerk 2 auf bedarfsgerechten Betrieb umrüsten	4'608 19%	41'355 21%	15'000.-	3.26	16%	Die Umsetzung der Massnahme ist als Auftrag ausgelöst.
Absauganlage Sägewerk auf bedarfsgerechten Betrieb umrüsten	2'415 23%	21'952 29%	10'000.-	4.55	8%	Die Ausführung der Arbeiten ist im Sommer 2004 vorgesehen.
Rückführung der sauberen Abluft in Raum (Leimwerk 1)	390	3'543	in Ersatz Absauganlagen Leimwerk 1 enthalten			Die Ausführung dieser Massnahmen ist mit dem Ersatz im Herbst 2004 vorgesehen.

Tabelle 4.2: Massnahmen und Einsparpotential Absauganlagen

4.3 Wärmeerzeugung

4.3.1 Ausgangslage

Am Kessel 2 wurden keine Massnahmen erkannt. Die Massnahmen Kessel 1 und allgemeine Empfehlungen sind unten formuliert.

4.3.2 Massnahmen und Einsparpotential Wärmeerzeugung

Der als Prozentzahl angegebene Wert ist bezogen auf die Betrachtungseinheit.

Betrachtungseinheit: Rauchgasventilator. Die Leistungskosten sind in den Werten nicht berücksichtigt.

Gesamtenergieverbrauch Rauchgasventilator 40'320 kWh
Elektroenergiekosten Rauchgasventilator 4'435 SFr.

Beschreibung der Massnahme	voraussichtliche Einsparungen		Investition, Amortisation, Ertrag			Massnahme ausgeführt
	Kosten [SFr]	Energie [kWh]	Investition [SFr]	Amortisationszeit [Jahre]	Zinsertrag [%]	
Ausrüsten des Rauchgasventilators Kessel 1 mit einem FU	1'109 25%	10'080 25%	5'000.-	4.51	8%	Die Massnahme wird im Moment nicht ausgeführt, da der Kessel entweder optimiert oder ersetzt wird.

Tabelle 4.3: Massnahmen und Einsparpotential Wärmeerzeugung

Als weitere Energiesparmassnahmen können genannt werden:

- Kein nasses Brenngut als Brennmaterial.

Das Brennmaterial aufbereiten (z.B. Hacken, es transportieren und in den Kessel einbringen) kostet auch Energie. Ist das Brennmaterial nass oder schlecht, so wird unnütz Energie verbraucht.

- Brenngut - Trocknung eventuell mit Abwärme
- Auch in der Wärmeenergie steckt Elektroenergie (bei diesen Anlagen pro MWh Wärme ca. 5.0 kWh Elektroenergie, siehe Messungen an der Wärmeerzeugung)

Mit dem Einsparen von Wärmeenergie kann auch Elektroenergie eingespart werden

4.4 Heizungsnetz

4.4.1 Ausgangslage Heizungsnetz

Überschlagsmässig sollte die erforderliche Anschlussleistung der Pumpe 1‰ der thermischen Kesselleistung betragen. [1]

4.4.2 Massnahmen Heizungsnetz

- Einsatz von Strahlpumpen an Stelle der Umwälzpumpen. (Die Amortisationszeit auf Grund von Zahlen aus ähnlichen Projekten (Holztrocknung) beträgt 1.5 bis 5 Jahre [21])
- Hydraulischer Abgleich, damit die Fördermengen reduziert werden
- Anlage auf variable Wassermengen umbauen

4.5 Trockenkammern

4.5.1 Allgemeine Bemerkungen

Der hohe Stromkonsum der Trockenkammern und Heizungen mit den relativ kleinen Motoren mag erstaunen, aber diese Anlagen laufen Tag und Nacht, das ganze Jahr. [1]

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. [1, Seite 18]

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. [1]

Drehzahlveränderung der Ventilatoren: Die Einstellung sollte so skaliert werden, dass die tiefste Einstellung der Drehzahl mit einer noch brauchbaren Luftgeschwindigkeit entspricht. Je nach Ventilator typ entstehen unter einer gewissen Drehzahl nur unnütze Luftstösse (pumpen). [1]

Die Energiesparmöglichkeiten stecken in der optimalen Beschickung, dem geschickten Plazieren der Messpunkte, im richtigen Trocknungsprogramm und in der zuverlässigen Wartung. [1]

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. [2]

Der Verband der Schweiz. Sägerei- und Holzindustrie hat vor einigen Jahren ein Merkblatt über die Trocknung herausgegeben. [2, Seite 46]

4.5.2 Ausgangslage

Bei der Firma Schilliger sind insgesamt 11 Trockenkammern installiert. Es gibt sehr alte (Baujahr 1973 und auch jüngere Kammern (Baujahr 1998). Nur die neuste Kammer aus dem Jahre 1998 ist mit einem Frequenzumformer ausgerüstet, um innerhalb des Trocknungsprozesses die Ventilator-drehzahl zu reduzieren.



Die Ventilatoren sind teilweise einfachster Bauart. Die Flügel sind mit "Segeltuch" bespannt. Die Leistung der Ventilatoren betragen zwischen 1.5 und 4.0 kW. Pro Kammer sind bis zu 14 Ventilatoren installiert.

Eine Wärmerückgewinnung für den Luftaustausch ist bei keiner Kammer realisiert. Für Neuanlagen sind WRG-Komponenten standardmässig zu bekommen.

Abbildung 4.9: Ventilator in eine Trockenkammer.

4.5.3 Massnahmen und Einsparpotential Trockenkammern

Folgende Massnahmen sind vorgesehen: Ausrüsten der Trockenkammern 5 und 10 mit Frequenzumformer für die Ventilatoren.

Der als Prozentzahl angegebene Wert ist bezogen auf die Betrachtungseinheit.

Betrachtungseinheit: Ventilatoren der Trockenkammern Nr. 5 und 10. Die Leistungskosten sind in den Werten berücksichtigt.

Gesamtenergieverbrauch Ventilatoren Trockenkammer 465'953 kWh
Elektroenergie-, Leistungskosten Ventilatoren Trockenkammern 55'014 SFr.

Beschreibung der Massnahme	voraussichtliche Einsparungen		Investition, Amortisation, Ertrag			Massnahme ausgeführt
	Kosten [SFr]	Energie [kWh]	Investition [SFr]	Amortisationszeit [Jahre]	Zinsertrag [%]	
Ausrüsten der Trockenkammer 5 mit bestehendem FU für Ventilatoren	4'979 9%	43'919 9%	4'000.-	0.8	114%	Die Umsetzung der Massnahme ist als Auftrag ausgelöst.
Ausrüsten der Trockenkammer 10 mit FU für Ventilatoren	7'698 14%	67'910 15%	11'000.-	1.43	60%	Die Umsetzung der Massnahme ist als Auftrag ausgelöst.
Gesamt-Einsparung Betrachtungs-Einheit	12'677.- 23%	111'829 24%				

Tabelle 4.4: Massnahmen und Einsparpotential Absauganlagen

Weiter ist vorgesehen die Trockenkammern als abschaltbare Last für die Lastoptimierung zu verwenden (siehe Kapitel Leistungsoptimierung).

Weitere Massnahmen für Energieoptimierungen sind:

- Optimierung der Ventilatoren in den Trockenkammern
- Wärmerückgewinnung der Abluft. Erwärmung der Aussenluft mit Abluft (WRG)
- Isolieren der Aussenwände der Kammern
- Eliminieren von Vakuumlecks im Vakuumtrockner
- Prozessoptimierung durch anderes Trocknungsverfahren

Diese Punkte sind jedoch nicht genauer geprüft worden.

Zur Prozessoptimierung siehe auch [2, Kapitel 5 und Kapitel 7]

4.6 bedarfsgerechtes, manuelles und automatisches Einschalten von Verbrauchern

Bei den Begehungen wurden immer wieder Elektromotoren angetroffen, welche laufen, obwohl sie eigentlich nicht gebraucht wurden. Dies ist im natürlichen Alltagsablauf normal, sollte jedoch so nicht einfach hingenommen werden. Das Einsparpotential ist recht gross. Daher werden die verschiedenen Produktionsbereiche, bei welchen Massnahmen vorgeschlagen werden, einzeln aufgelistet. Zusätzlich zur Einsparung von Elektroenergie ergeben sich Einsparungen an Instandhaltungskosten durch geringeren Verschleiss und Einsparungen an der Leistung (Leistungspreis Elektro). Somit ist ein bewusster Umgang und ein angepasstes Verhalten auf verschiedenen Ebenen lohnend.

Das Einsparpotential wurde teilweise gemessen, berechnet und auf den Jahresbedarf hochgerechnet. In anderen Fällen handelt es sich um Abschätzungen.

4.6.1 Rundholzplatz, Anlieferung

4.6.1.1 Rundholzplatz 1

Ausgangslage: Der Sortierzug und die Kreissäge laufen nach Bedarf. Normalerweise werden die Motoren vom Maschinisten bedarfsgerecht ein- und ausgeschaltet.

Massnahmen: Allgemeine Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.1.2 Rundholzplatz 2

Ausgangslage: Der Sortierzug und die Kreissäge laufen nach Bedarf. Normalerweise werden die Motoren vom Maschinisten bedarfsgerecht ein- und ausgeschaltet.

Massnahmen: Allgemeine Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.1.3 Anlieferung (Vermessung und Sortierung) Rundholzplatz 2

Ausgangslage: Nach dem Abladen wird das Holz auf einen Förderzug gelegt, danach vermessen und bei Bedarf abgeschnitten. Am Schluss gelangen die Stämme auf den Sortierzug.

Massnahmen: Bedarfsabhängiges, manuelles Ausschalten der einzelnen Verbraucher, das heisst: a) Wenn das Holz von den Strassenfahrzeugen abgeladen ist und unmittelbar kein neuer Transport ansteht, den Förderzug abstellen. b) wenn vorhersehbar ist, dass die Kreissäge nicht gebraucht wird (z.B. für eine neue Ladung) diese ausschalten. c) wenn alle Stämme auf dem Sortierzug ausgeboxt sind (also sich kein Stamm mehr auf dem Sortierzug befindet und alle Stäm-

me in den Sortierboxen sind) und vorhersehbar ist, dass keine neuen Stämme auf den Sortierzug kommen, diesem ausschalten.

Einsparpotential: 500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt. Mit folgender Messmethode könnte dies genau ermittelt werden: Eine Woche lang die Energien und Leistungen im "Normalbetrieb" aufzeichnen (ohne Information des Bedienpersonals). Danach das Personal informieren, gemeinsam die konsequenten Abschaltungen festlegen und danach wieder eine Woche lang messen. Beim Vergleich sollten Schwankungen des Durchsatzes dieses Produktionsteils berücksichtigt werden. Der Unterschied kann anschliessend auf den Jahresumsatz umgerechnet werden.

4.6.2 Entrindungsanlagen

4.6.2.1 Link-Entrinder

Ausgangslage: Generell werden bedarfsgerechte manuelle Ein- und Ausschaltungen von den Maschinisten vorgenommen.

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.2.2 Valancone-Entrinder

Ausgangslage: Generell werden bedarfsgerechte manuelle Ein- und Ausschaltungen von den Maschinisten vorgenommen. Teilweise sind auch automatische Abschaltungen auf Grund des Produktionsprozesses realisiert. Z.B. stellen die Blockzüge automatisch ab, damit kein Stau von Stämmen entsteht.

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.3 Aussenhackanlage (R+E)

Ausgangslage: Die Hackanlage wurde immer wieder so angetroffen, dass sie läuft, jedoch kein Hackgut im Aufgabebereich oder in der Vibrarinne ist. Die Aggregate laufen so im Leerlauf vor sich hin.

Die Leistungsaufnahme für den Hacker (inkl. Nebenaggregate) im Leerlauf beträgt ca. 17 kW.

Massnahmen: siehe separates Kapitel "Aussenhackanlage"

Einsparpotential: siehe separates Kapitel "Aussenhackanlage"

4.6.4 Sägewerk

Grundsätzlich werden bedarfsgerechte manuelle Ein- und Ausschaltungen von den Maschinisten vorgenommen. Es wurden jedoch Situationen angetroffen, bei denen die Anlagen ohne zu produzieren, gelaufen ist. Insbesondere beim Auftreten von Störungen im vor- oder nachgelagerten Produktionsprozess.

4.6.4.1 Blockband-Säge

Ausgangslage: Teilweise Betrieb ohne Nutzung.

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 1'500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 10 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.4.2 Vollgatteranlage

Ausgangslage: Teilweise Betrieb ohne Nutzung.

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 2'000 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 10 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.4.3 Profilerspanneranlage

Ausgangslage: Teilweise Betrieb ohne Nutzung.

(Die Spanabsaugung wird im Bereich Absaugung behandelt.)

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 2'500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 10 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.5 Entsorgung Sägerei

Ausgangslage: Innenhackanlage und Becherwerk, Sägemehl und Hackschnitzel

Auch Kettenverschleiss (Kette wiegt 3 Tonnen, ob beladen oder nicht)

Massnahmen: siehe separates Kapitel "Entsorgung"

Einsparpotential: siehe separates Kapitel "Entsorgung"

4.6.6 Brettsortierwerk (Fabr. Springer / Bälz)

Ausgangslage: Keine konkreten Ausschaltungen oder Optimierungen erkannt.

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.7 Brettsortierwerk (Fabr. Link)

Ausgangslage: Keine konkreten Ausschaltungen oder Optimierungen erkannt.

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.8 Hobelwerk (Täfer Hobelwerk)

Ausgangslage: 1.5 kW Motor der "Qualitätsstrecke" läuft, obwohl er nicht laufen müsste. Sonst keine weiteren Ausschaltungen oder Optimierungen erkannt

Massnahmen: Motor der "Qualitätsstrecke" (Sortierklappe) so schalten, dass er nur läuft, wenn Bedarf vorhanden ist.

Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 1'300 kWh

abgeschätzt mit ca. 875 Betriebsstunden pro Jahr

4.6.9 Hobelwerk (Bauholz Hobelwerk)

Ausgangslage: Keine konkreten Ausschaltungen oder Optimierungen erkannt.

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 500 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.10 Leimwerk 1

- Ausgangslage: Hydraulik und Fräsaggregate laufen, obwohl sie nicht benötigt werden
- Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).
Weitere automatische Abschaltungen auf Grund der Erfahrungen Leimwerk 2
- Einsparpotential: ca. 3'500 kWh pro Jahr (nur manuelle konsequente Abschaltungen, automatische Abschaltungen sind nicht enthalten)
Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 20 min pro Tag konsequenter im Zweischichtbetrieb ausschalten)

4.6.11 Leimwerk 2

- Ausgangslage: Im Leimwerk 2 wurden immer wieder Maschinen und Motoren angetroffen, welche laufen, obwohl kein Bedarf vorhanden ist. Als Beispiel können die Keilzinkenanlage und die Vorhobelmaschine genannt werden.
Die Keilzinkenanlage wurde genauer untersucht (siehe separates Kapitel "Keilzinkenanlage Leimwerk 2")
- Massnahmen: siehe separates Kapitel "Keilzinkenanlage Leimwerk 2"
- Einsparpotential: siehe separates Kapitel "Keilzinkenanlage Leimwerk 2"

4.6.12 Leimwerk 3

- Ausgangslage: Keine konkreten Ausschaltungen oder Optimierungen erkannt.
- Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).
Weitere automatische Abschaltungen auf Grund der Erfahrungen Leimwerk 2
- Einsparpotential: ca. 500 kWh pro Jahr (nur manuelle konsequente Abschaltungen, automatische Abschaltungen sind nicht enthalten)
Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter im Zweischichtbetrieb ausschalten)

4.6.13 Leimwerk 4

- Ausgangslage: neues Werk, teilweise in Planung, teilweise erstellt
- Massnahmen: Vor der Bestellung der Maschinen mit dem Lieferanten die automatische Abschaltung von nicht benötigten Motoren und Verbrauchern festlegen.
- Einsparpotential: Konnte noch nicht ermittelt werden, da das Werk erst im Aufbau ist.

4.6.14 Horizontalbandsäge und Kappstation Paul

Ausgangslage: Keine konkreten Ausschaltungen oder Optimierungen erkannt.

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 200 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.15 Ablängestation

Ausgangslage: Keine konkreten Ausschaltungen oder Optimierungen erkannt.

Massnahmen: Allgemeine weitere Sensibilisierung des Bedienpersonals (siehe Kapitel Organisatorische, betriebliche Massnahmen).

Einsparpotential: ca. 100 kWh pro Jahr

Das Einsparpotential wurde grob geschätzt (einen Teil der Verbraucher während 5 min pro Tag konsequenter ausgeschaltet)

4.6.16 Allgemeine Bemerkungen zum Ein- und Ausschalten von Elektromotoren

Motoren in Zeiten abzustellen, in welchen sie nicht gebraucht werden, lohnt sich!

Ein Richtwert wird in [1] angegeben: Das Abschalten einer Maschine lohnt sich, wenn die Pause grösser als die 5-fache Hochlaufzeit ist. Wenn z.B. 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).

Diese Angaben beziehen sich auf den Energieverbrauch. Bei einem Aussetzbetrieb ist jedoch auch die Erwärmung und der Verschleiss der Schaltelemente zu beachten. Ein Motor, welcher oft ein und ausgeschaltet wird, kann sich mehr als im Dauerbetrieb erwärmen und dadurch ausfallen. [6, Seite 43]

Wenn aus energetischen Gründen bei Neuanlagen oder Umbauten ein häufiger Aussetzbetrieb vorgesehen ist, so sollte die Wicklungstemperatur des Motors überwacht werden. Die Überwachung erfolgt mit einem Fühler (Kaltleiter) und einem Überwachungsgerät. Viele Motoren haben Kaltleiter standardmässig bereits eingebaut. Ein Auslösegerät überwacht die Temperaturveränderung und nimmt bei Bedarf Schaltungen (Alarmierung, Abschaltung.). Im weiteren kann ein Motor vom Motorenhersteller (-Lieferanten) bezüglich Ein- und Ausschaltungen ausgelegt werden. Der Hersteller kann eine Angabe machen, wie viele Einschaltungen pro Zeiteinheit zulässig sind.

Bei Verwendung von Sanftanlassern oder Frequenzumformern ist die Erwärmung des Motors und der Verschleiss von Schaltelementen durch häufiges Ein- und Ausschalten normalerweise kein Problem.

4.7 Aussenhackanlage

4.7.1 Ausgangslage

Zu Beginn des Projektes und bei den ersten Begehungen wurde festgestellt und auch von verschiedener Seite angesprochen, dass die Aussenhackanlage läuft, obwohl kein Hackgut aufgegeben ist.

Durch die Sensibilisierung der Mitarbeiter besserte sich dieser Umstand und bei den Messungen konnten keine gravierenden Leerlaufzeiten festgestellt werden.

4.7.2 Massnahmen und Einsparpotential Aussenhackanlage

Das Verständnis und die Sensibilisierung, dass Leerlaufzeiten Geld und Energie kosten, soll weiter aufrecht erhalten, weiter gefördert und auch kontrolliert werden.

Beschreibung der Massnahme	voraussichtliche Einsparungen		Massnahme ausgeführt
	Kosten [SFr]	Energie [kWh]	
Sensibilisierung für bedarfsgerechtes manuelles Schalten	90.-	900	Die Umsetzung der Massnahme ist als Auftrag ausgelöst.

Tabelle 4.5: Massnahmen und Einsparpotential Aussenhackanlage

Das Handeln für einen energiegerechten Betrieb (bedarfsgerechtes Schalten) muss aufrecht erhalten und kultiviert werden.

4.8 Entsorgung

4.8.1 Ausgangslage

Bei Begehungen und Besprechungen wurde erkannt, dass die Entsorgungsanlagen teilweise laufen, obwohl sie abgestellt werden könnten. Die Anwesenheit von fremdem Personal mit Block und Bleistift bewirkte schon etwas, bevor die Messungen gemacht wurden. Mit den Messungen sollten die Leistung und die Energien ermittelt und das Einsparpotential erkannt werden.

4.8.2 Massnahmen und Einsparpotential Entsorgung

Die Leistung der ganzen Entsorgung beträgt ca. 46.5 kW. Das Einsparpotential ist nachfolgend angegeben für den Zustand ab den Messungen. Auf Grund der Sensibilisierung des Personals ist die effektive Einsparung vermutlich höher, da bei den Messungen schon recht diszipliniert ausgeschaltet wurde und die Beobachtungen und Rückmeldungen (z.B. der Instandhaltung) auf mehr unnötigen Betrieb hingewiesen haben.

Beschreibung der Massnahme	voraussichtliche Einsparungen		Massnahme ausgeführt
	Kosten [SFr]	Energie [kWh]	
Ganze Entsorgung abstellen, wenn sie nicht gebraucht wird. Dazu sollen zusätzliche Schalter für die Ein- und Ausschaltungen angebracht werden.	390.-	3'900	Die Umsetzung der Massnahme ist als Auftrag ausgelöst.

Tabelle 4.6: Massnahmen und Einsparpotential Entsorgung

4.8.3 Allgemeine Hinweise zur 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. [1, Seite 16]

4.9 Keilzinkenanlage Leimwerk 2

4.9.1 Ausgangslage

Die Keilzinkenanlage wurde immer wieder angetroffen, dass sie läuft, aber kein Holz verarbeitet wird. Sie wurde ausgewählt, um die Leerlaufzyklen und die Leerlaufleistungen genauer zu untersuchen (siehe Kapitel "Messungen an der Keilzinkenanlage Leimwerk 2").

4.9.2 Massnahmen und Einsparpotential Keilzinkenanlage Leimwerk 2

Der Energieverbrauch im Leerlauf für die Betrachtungseinheit (zwei Fräsmotoren und zwei Zerspanermotoren) beträgt 15'582 kWh. Dies ergibt Kosten von ca. Fr. 1'700.- pro Jahr.

Es sind folgende Massnahmen möglich:

- Organisatorische Massnahmen, damit die Auslastung besser ist.
- An- und Abstellen der Motoren (mit der bestehenden Anlage wie sie jetzt ist)
- Ausrüsten der Anlage mit Sanftanlasser
- Ergänzung der Anlage mit Automatik, damit die Motoren bedarfsgerecht ein und ausgeschaltet werden, wenn Holz kommt.

Die ganzen Leerlaufkosten können nicht eliminiert werden, somit steht ein nicht sehr grosser Betrag für Umbauten und Ergänzungen der Anlage zur Verfügung.

Daher wurde entschieden, mit organisatorischen Massnahmen die Leerlaufzeiten zu verringern.

Der Punkt der Leerlaufzeiten und die Ansteuerung von Elektromotoren innerhalb des Produktionszyklus sollte bei Neuanschaffungen von Maschinen unbedingt beachtet werden und in die Kaufbeurteilung mit einfließen.

4.10 Heben und Senken von Lasten

4.10.1 Ausgangslage

Bei der Schilliger Holz AG gibt es grosse Holzlagerplätze.

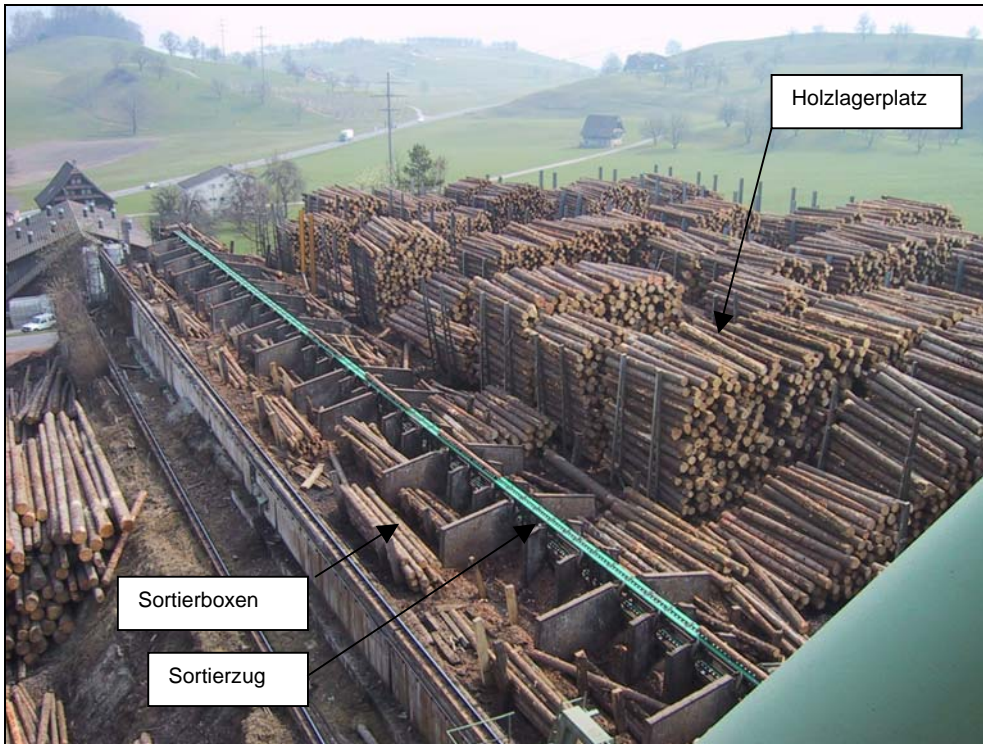


Abbildung 4.10: Rundholzplatz 2 mit den Sortierboxen und den Lagerplätzen.

Bevor das Holz in der Sägerei verarbeitet wird, wird es einige Male mit den Portalkranen angehoben und abgesenkt.

Zuerst gelangt das Holz von Sortierzug in die Sortierboxen.	
Von dort wird es vom Kran angehoben,	1. anheben
und dann auf den Lagerplatz deponiert.	1. absenken
Soll es in der Sägerei verarbeitet werden, so wird es von Lagerplatz genommen	2. anheben
und zum Entrinder gebracht.	2. absenken

Die Entrindungsanlage liegt tiefer als der Holzlagerplatz 2. So ist die potentielle Energie durch das Absenken immer grösser als durch das Anheben.

Die Antriebe der Portalkrane (Fahrantrieb, Laufkatze, Winde usw.) werden mit Frequenzumformern angesteuert.

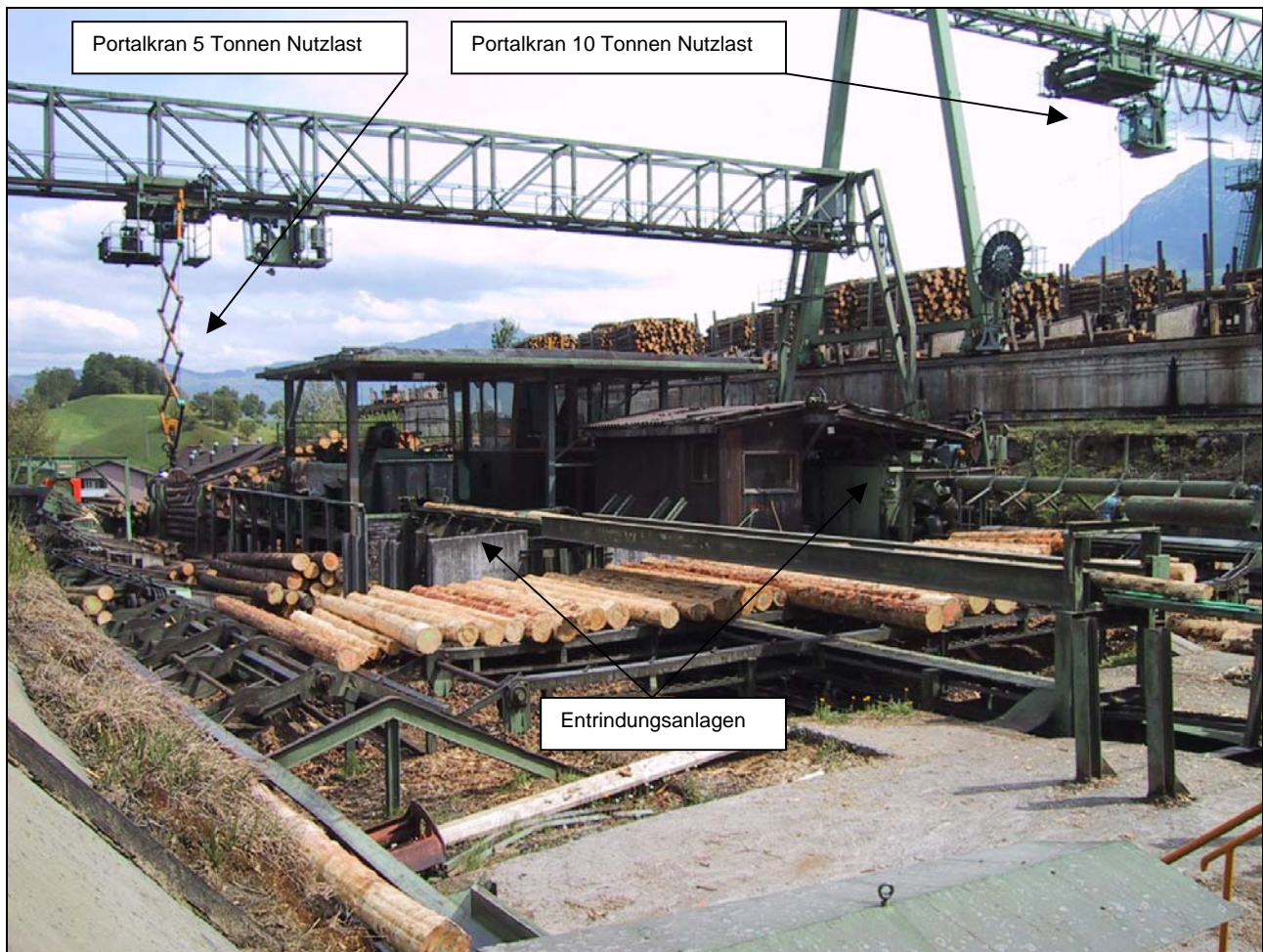


Abbildung 4.11: Rundholzplatz 2 mit den Sortierboxen und den Lagerplätzen.



Die Energie, welche beim Absenken, Bremsen usw. anfällt wird mit grossen Widerständen in Wärme umgewandelt und vernichtet.

Abbildung 4.12: Widerstände des Portalkranes zur "Vernichtung" der Energie aus Absenken, Bremsen usw.

4.10.2 Generatorischer Betrieb beim Absenken der Lasten

Beim Absenken von Lasten herrscht ein generatorischer Betrieb. Dies kommt sehr ausgeprägt vor beim grossen Portalkran mit 10 t Nutzlast und einer maximalen Hubhöhe von 16 m. Mit diesem Portalkran werden im Rundholzlager die Baumstämme bündelweise hochgehoben, transportiert und wieder abgesenkt. Beim Absenken könnte ein grosser Teil der Hubenergie zurückgewonnen werden. Die Motoren des Portalkrans werden jedoch von Frequenzumrichtern (FU) angesteuert, welche keine Rückspeisung der Energie ins Stromnetz erlauben. So wird beim Absenken die vom 55 kW-Asynchronmotor der Hubwinde anfallende Energie mit externen elektrischen Bremswiderständen nutzlos verheizt.

4.10.3 Möglichkeiten der Rückspeisung

Es gibt mehrere Technologien, welche eine Rückgewinnung und Rückspeisung von elektrischer Energie ins Netz erlauben.

Die vorhandenen Frequenzumformer bestehen aus einem einfachen passiven Gleichrichter, welche die Elektrizität aus dem Netz gleichrichten und in einen Zwischenkreis speisen. Aus diesem Gleichspannungs-Zwischenkreis zieht ein aktiver Wechselrichter die Energie und speist den Motor.

Wenn der Motor generatorisch läuft, fliesst Energie vom Motor via Wechselrichter zurück in den Zwischenkreis.

Um vom Gleichstrom-Zwischenkreis Energie ins Stromnetz zurückspeisen zu können, braucht es anstelle des passiven Gleichrichters eine aktive, gepulste Einspeise-Rückspeise-Einheit. (Es existieren auch andere Prinzipien, z.B. Zwischenkreis mit eingepprägtem Strom usw.).

4.10.4 Vergleich mit und ohne Rückspeisung

Zum Vergleich der Investitionskosten hat uns der Hersteller der bestehenden Frequenzumformer (Siemens) Preise für drei Varianten kalkuliert, wobei nur der FU des Hubmotors betrachtet wurde:

- Variante 1: Frequenz-Umrichter mit Bremswiderstand, so wie er besteht.
- Variante 2: Umrichter mit Einspeise-Rückspeise-Einheit, so wie er für eine Neuanlage geplant würde
- Variante 3: Nachrüsten des bestehenden Umrichters mit einer Einspeise-Rückspeise-Einheit.

Der bestehende FU ohne Rückspeisung (Variante 1) kommt inklusive Filter, Bremseinheit usw. auf rund CHF 21'500.-. Dazu kommen noch der Einbau und die Verdrahtung der Komponenten für die Einspeisung von ca. CHF 2'500.- und ebenso für den externen Bremswiderstand. Total also rund CHF 25'000.-.

Eine Neuanlage mit Rückspeisung (Variante 2) kostet total CHF 39'500.- (das Netzmodul ist komplett verdrahtet). Dies ist ein Mehrpreis gegenüber der bestehenden Variante 1 von rund CHF 18'000.- (Preis-Stand 2003). Nebst Energie-Einsparung bietet diese Variante aber zusätzliche Vorteile, die unten noch erläutert werden.

Das Nachrüsten des bestehenden FU (Variante 3) kommt auf CHF 26'500.- plus Umbaukosten von ca. CHF 2'500.-, also auf rund CHF 29'000.- plus Kosten für die Anpassung des Elektroschemas.

Der Portalkran ist einschichtig in Betrieb. Für die Abschätzung der Energieeinsparung wurde zuerst stichprobenartig die Häufigkeit der Lastabsenkung im Betrieb gemessen. Dabei wurde erkannt, dass von einem Absenkvorgang bis zum nächsten meist ca. 2-3 min vergehen (Zeitbedarf für Greifen, Fahren, Abladen, Wartezeiten usw.). Viel genauere Werte liefert jedoch die globale Betrachtung der verarbeiteten Holzmenge: Pro Jahr werden gemäss Ernest Schilliger etwa 91'000 Tonnen Rundholz verarbeitet. Das Holz wird nach dem Vermessen in Sortierboxen eingeordnet. Von dort nimmt der Portalkran das Rundholz und versorgt es ins entsprechende Lager. Die Absenkhöhe ist dabei etwa 6 m. Vor der Weiterverarbeitung transportiert der Portalkran das Rundholz von dort zum Entrinder. Die Absenkhöhe ist hier etwa 12 m. Aus der totalen Gewichtskraft von 910'000 kN, multipliziert mit der Summe der Absenkhöhen von rund 18 m ergibt sich eine Hubenergie von 16'380'000 kNm (1 kNm = 1 kJ = 1 kWh). Dies sind 4'550 kWh. Mit Berücksichtigung eines mechanischen Wirkungsgrads (Seilzug mit Rollen und Winde, Getriebe) und des elektrischen Wirkungsgrads von Motor und FU-Einheit bleiben noch etwa 3'400 kWh, das macht bei einem angenommenen Strompreis von 11 Rp/kWh weniger als 400 Franken pro Jahr. Bei diesen Betrachtungen wurde nur die Absenkung der Last berücksichtigt, nicht jedoch das Abbremsen der Fahrmotoren (Bewegung der Gesamtmasse der Krananlage und der Laufkatze).

Die Einspeise-Rückspeise-Einheit bietet aber nebst der Energie-Rückspeisung ins Netz sonstige Vorteile:

- Durch Vektorregelung des Leistungsfaktors $\cos \phi$ ist eine Blindleistungskompensation enthalten. Die Blindleistung kann sogar „überkompensiert“ werden. Die bestehende Blindstromkompensation im Stromnetz bekommt dadurch mehr Reserve.
- Im Gegensatz zu einer passiven Gleichrichtung kann die Spannung im Zwischenkreis um 10-15% hochgesetzt werden. Vorteil: Motor kann 10-15% mehr leisten, bzw. hat kleinere Ströme bei gleicher Leistung (Kosten, Wirkungsgrad).
- Der Wirkungsgrad der Einheit ist besser.
- Interessant ist ein Zwischenkreis-Verbund für alle Motoren (Fahrmotoren für den Portalkran, Fahrmotoren für die Laufkatze, Motoren für das Greifen usw.). Dabei wird nur eine Einspeise-Rückspeise-Einheit für den gemeinsamen Zwischenkreis benötigt. Die Wechselrichter für die einzelnen Motoren ziehen ihre Energie von diesem gemeinsamen Zwischenkreis. Da niemals alle Motoren gleichzeitig anlaufen oder mit Vollast laufen (z.B. Greifen und Fahren), muss diese Einheit für die Versorgung des Zwischenkreisverbunds nicht so leistungsstark sein wie die Summe der Leistungen aller Motoren. Dies wirkt sich günstig auf den Preis aus. Zudem benötigt diese Version weniger Platz (kleinerer Schaltschrank). Der grosse Vorteil ist aber, dass die Energie, welche z.B. beim Absenken der Last oder beim Abbremsen eines Fahrmotors gewonnen und in den Zwischenkreis zurückgespielen wird, von den andern Motoren direkt vom Zwischenkreis wieder entnommen wird, ohne den Umweg über das Netz. Dies ist bei allen Anwendungen interessant, wo generatorischer und motorischer Betrieb miteinander auftreten.

Für neue Anlagen kann daher ein solches System sehr wohl interessant sein. In aktueller Literatur (Dezember 2003) ist ein ausgeführtes Projekt mit einer Amortisationszeit von 4 Jahren beschrieben [16, Seite 10].

Bei Anwendungen mit generatorischem und motorischem Betrieb (z.B. bei Portalkrananlagen) ist eine Ausführung mit gemeinsamem Zwischenkreis für alle Antriebe und Einspeise-Rückspeise-Einheit zu prüfen.

4.11 Vermindern von Reibung

4.11.1 Ausgangslage

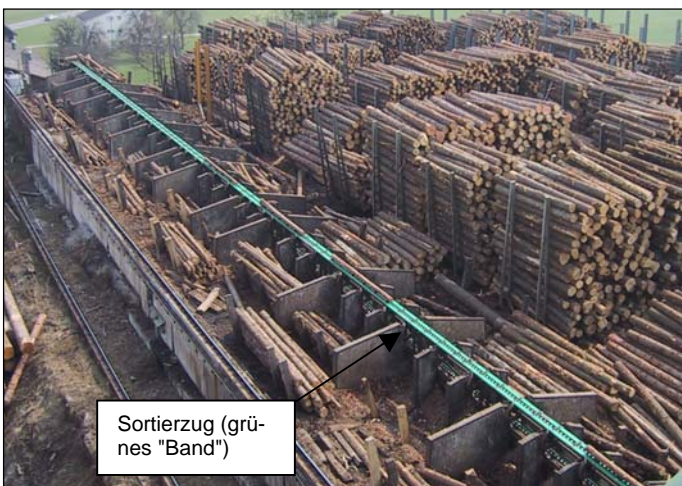
In einem holzverarbeitendem Betrieb gibt es viele Transportanlagen, bei denen Reibung entsteht (Förderbänder, Sortierzüge, Kettenzüge usw.). Kann die Reibung vermindert werden, so verringert sich auch die Stromaufnahme und der Energieverbrauch der Antriebsmotoren.



Abbildung 4.13: Kettenzug zwischen Entrindungsanlage und Sägewerk

Die Betriebsmechaniker der Firma Schilliger sind sich dieser Thematik bewusst. Somit wurden in der Vergangenheit einige Massnahmen mit Erfolg ausgeführt. Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt.

4.11.2 Beispiele für die Verminderung von Reibung



Sortierzug (grünes "Band")

Erstes Beispiel:

Auf dem Sortierzug werden die Stämme von der Anlieferung zu den Sortierboxen gebracht. Ausserhalb der Winterzeit wird Wasser auf den Sortierzug gesprüht. Dies vermindert die Reibung, was zu einer Reduktion der Stromaufnahme um einen Drittel führt.

Im Weiteren wurde bei der Anlieferung eine Zentralschmieranlage installiert.

Abbildung 4.14: Sortierzug mit den Sortierboxen

Zweites Beispiel:

Auf dem Förderband (Schleifgurten mit Geweberücken) werden Holzlatten transportiert. Wegen einer Störung des Transportmotors wurde das Instandhaltungspersonal gerufen. Der Grund für die Störung war das Wärmepaket, welches ausgelöst hatte (Einstellung 3.5 Amp.). Der Mechaniker streute Talg unter das Band und machte eine erste Messung, welche eine Stromaufnahme von 1.9 Amp. ergab. Eine Nachmessung nach 3 Stunden zeigte einen Wert von 2.2 Amp.



Abbildung 4.15: Förderband für die Förderung von Täfer-Latten

4.11.3 Massnahmen und Einsparpotential bei Reibungsverminderung

Die Mitarbeiter sind für die Thematik sensibilisiert. Konkrete Massnahmen werden nicht vorgeschlagen.

Als allgemeine Aussage kann gesagt werden, dass die Reibungsverluste (Energie und Verschleiss) von Entsorgungs- und Transportanlagen proportional zur Fördergeschwindigkeit sind. 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). [1, Seite 16]

4.12 Prozessoptimierungen

4.12.1 Ausgangslage

Die Gestaltung und Handhabung des Produktionsprozesses hat einen elementaren Einfluss auf die Energiekosten.

Die meisten Prozesse beruhen auf verschiedenen Parametern, welche oft stufenlos veränderbar sind (z.B. Vorschubgeschwindigkeit, Feuchtigkeitsgehalt etc.). In der Regel bestimmt das Arbeitsergebnis den einzustellenden Wert des Parameters, weil dies am leichtesten ersichtlich und zu beurteilen ist. Da der Energieverbrauch schwieriger zu ermitteln ist, wird er selten als Kriterium benutzt. Weil die Energiekennlinie den Zusammenhang zwischen Parameterwert und Energieverbrauch sichtbar macht, kann sie als taugliches Mittel für die optimale Wahl des Parameterwertes eingesetzt werden. Allerdings ist dazu die kontinuierliche Aufzeichnung des Energieverbrauchs während der Veränderung des Parameters erforderlich.

4.12.2 Beispiele für die Optimierung des Produktionsprozesses

Beispiel Veränderung der Vorschubgeschwindigkeit mit Hilfe einer Energiekennlinie

Kann die Vorschubgeschwindigkeit innerhalb des Prozesses gewählt werden, so ist das Optimum zu ermitteln. Die Erfahrung zeigt, dass Energiekennlinien oft konkav mit einem Minimumwert sind [4, Seite 65].

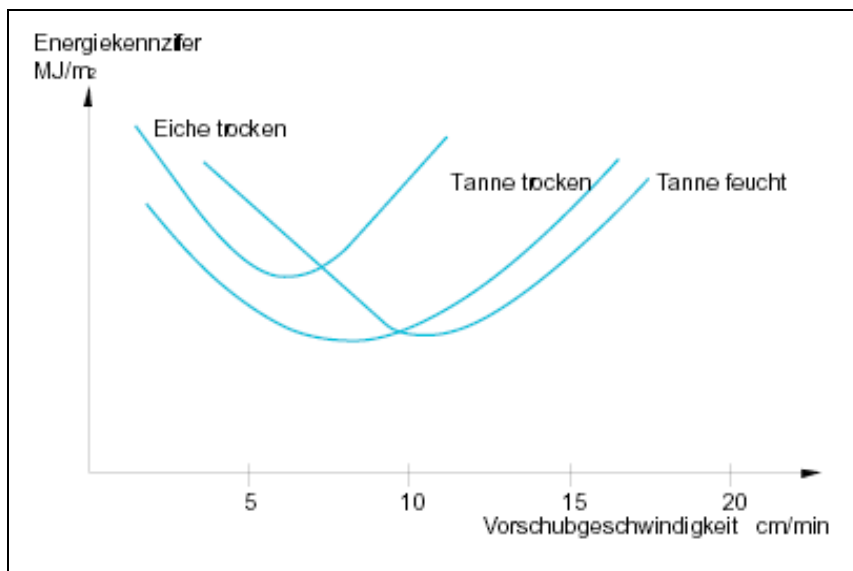


Abbildung 4.16: Beispiel der Energiekennlinie einer Sägerei: Energiekennziffer in Funktion der Vorschubgeschwindigkeit. [4, Seite 64]

Dieses Verfahren kann auch auf andere Bereiche angewandt werden, z.B. auf Transportanlagen (Energiekennziffer in Funktion der Förderleistung).

Weitere Beispiele von Energiekennziffern sind:

Sägerei: Energiekennziffer Rahmensäge liegt 70 % höher als bei Bandsäge. Energiekennziffer trockenes Holz liegt 40 % tiefer als bei nassem Holz [4, Seite 65]

Transport: Energiekennziffer Förderband liegt 30 % höher als bei Paternoster. [4, Seite 65]

Weitere Optimierungsmöglichkeiten

Optimierung der Blockbandsägen: Mit einem Frequenzumrichterantrieb könnte eventuell bei Pausen die Bandsäge langsamer laufen oder auch abgestellt werden. Zusammen mit dem sanften Anlauf würde sich dadurch eventuell auch die Standzeit der Sägebänder erhöhen. Zusätzlich könnte die optimale Bandgeschwindigkeit (Holzart, Winter, Sommer) gewählt werden. Aus [1, Seite13]. Die Wirtschaftlichkeit dieser Massnahme muss von Fall zu Fall überprüft werden.

4.13 Beleuchtung

4.13.1 Ausgangslage Leimwerk 1

Die gemessene Wirkleistung im Leimwerk 1 beträgt ca. 6.0 kW (4.74 W/m²), die Beleuchtungsstärke im Maximum ca. 100 Lux. Die Beleuchtung wird von den Benutzern als zu schwach empfunden.

Aus diesem Grunde wurde für das Leimwerk 1 ein Ersatz für die Beleuchtung mit einer Beleuchtungsstärke von 300 Lux projiziert. Aus den Projektdaten können folgende Werte entnommen werden:

Gesamtleistung	7'125 W
Gesamtleistung pro Fläche	5.62 W/m ²
Mittlere Beleuchtungsstärke	237 Lux
Minimale Beleuchtungsstärke	79 Lux
Maximale Beleuchtungsstärke	373 Lux

Ein Ersatz verursacht ein Energiemehrverbrauch von ca. 1'125 W x 20 h x 5 Tage x 50 Wochen = 5'625 kWh (Fr. 619.-) pro Jahr, dies jedoch bei stark verbesserter Arbeitsqualität durch die bessere Beleuchtung. Diese Massnahme wird im Rahmen dieses Energiesparprojektes nicht mehr weiterverfolgt.

4.13.2 Ausgangslage Scheinwerfer

In einigen Bereichen (innen und aussen) werden Halogenscheinwerfer verwendet, so z.B. bei:

- Verladeplatz
- Lagerhalle bei Trockenkammer 10
- Eingang Lager Hobelwerk
- Brettsortierwerk
- usw.

An Stelle des Halogen Leuchtmittels könnten auch Scheinwerfer mit Kompakt-Leuchtstoff-Lampen verwendet werden.

Vergleich Leistungsaufnahme

Halogen	300 W
Kompakt-Leuchtstoff Lampen	2 x 26W

Abbildung 4.17: Verwendung von Halogenscheinwerfern an verschiedenen Standorten im Werk.



4.13.3 Massnahmen und Einsparpotential bei der Beleuchtung

- Regelmässiges Reinigen der Leuchtmittel (z.B. Leuchtstofflampe), der Reflektoren und der Abdeckungen (z.B. Gläser vor Scheinwerfern oder Stahlern).

Vor allem in Betrieben mit grossem Staubanfall verringert sich die Beleuchtungsstärke sehr schnell (schon nach wenigen Monaten).

- Automatisches Schalten in Lager- oder Durchgangsbereichen (Bewegungsmelder).
- Bei Ersatz oder Neumontage eines Scheinwerfers an Stelle eines Halogen-Leuchtmittels ein Strahler mit Kompakt Leuchtstoff-Lampe einsetzen.

4.13.4 Allgemeine Hinweise im Zusammenhang mit der Beleuchtung

Ein möglichst heller Anstrich der Innenflächen unterstützt eine gute Beleuchtung. [1, Seite 20]

Wo immer möglich, sollte Tageslicht verwendet werden (Fenster, Oblichter). Diese sind sauber zu halten.

Eine trotzdem notwendige künstliche Beleuchtung sollte auf die Arbeitsplätze abgestimmt sein, und sollte je nach Bedarf lokal ein- und ausgeschaltet werden können. Für eine energieeffiziente 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. [1, Seite 20]

4.14 Leistungsoptimierung

4.14.1 Ausgangslage

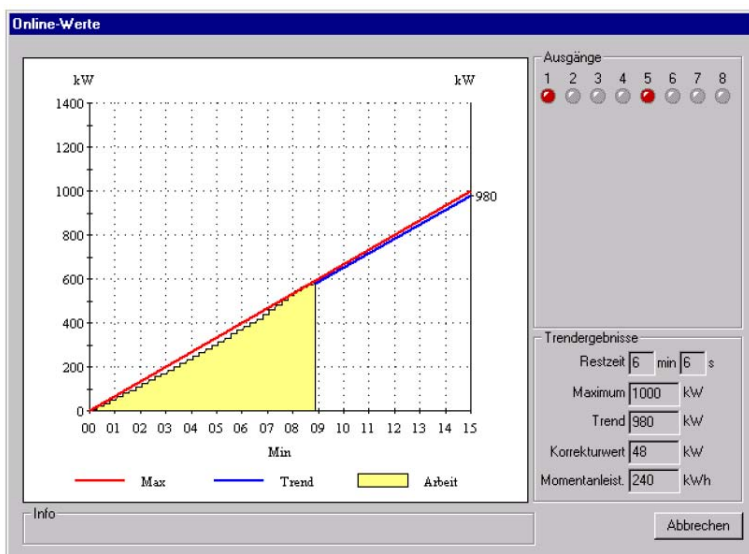
Wie aus den Messungen der Gesamtleistung ersichtlich ist (siehe Kapitel "Messungen am Haupt-Elektrozähler") gibt es im Tagesverlauf klare Leistungsspitzen. Diese Leistungsspitzen wurden für die Monate September bis November ausgewertet. Die Auswertungen für den Monat November sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Leistung grösser als							Einsparung pro Monat		Einsparung pro Jahr	
1'908 kW	0 kW	0.00%	2'880 Einheiten	720.00 h	-h	SFr. 10'112.40	SFr. -	SFr. -	SFr. -	
1'900 kW	8 kW	0.42%	2 Einheiten	0.50 h	719.50h	SFr. 10'070.00	SFr. 42.40	SFr. 508.80	SFr. 508.80	
1'850 kW	58 kW	3.04%	14 Einheiten	3.50 h	716.50h	SFr. 9'805.00	SFr. 307.40	SFr. 3'688.80	SFr. 3'688.80	
1'800 kW	108 kW	5.66%	37 Einheiten	9.25 h	710.75h	SFr. 9'540.00	SFr. 572.40	SFr. 6'868.80	SFr. 6'868.80	
1'750 kW	158 kW	8.28%	84 Einheiten	21.00 h	699.00h	SFr. 9'275.00	SFr. 837.40	SFr. 10'048.80	SFr. 10'048.80	
1'700 kW	208 kW	10.90%	142 Einheiten	35.50 h	684.50h	SFr. 9'010.00	SFr. 1'102.40	SFr. 13'228.80	SFr. 13'228.80	
1'650 kW	258 kW	13.52%	233 Einheiten	58.25 h	661.75h	SFr. 8'745.00	SFr. 1'367.40	SFr. 16'408.80	SFr. 16'408.80	
1'600 kW	308 kW	16.14%	332 Einheiten	83.00 h	637.00h	SFr. 8'480.00	SFr. 1'632.40	SFr. 19'588.80	SFr. 19'588.80	

Tabelle 4.7: Auswertung der Leistungsspitzen für den Monat November 2003

Die grösste Leistungsspitze im Monat November betrug 1'908 kW. Die Leistung von 1'900 kW wurde während 0.5 Stunden, also 30 Minuten, überschritten. Eine Leistung von 1'750 kW während 21 Stunden. Für die bezogene Leistung muss Fr. 10'112.40 bezahlt werden. Könnte die Leistungsspitze auf z.B. 1'750 kW reduziert werden, so müsste pro Monat nur noch Fr. 9'275.- bezahlt werden, also Fr. 837.40 weniger. Auf ein Jahr umgerechnet ergibt das Einsparungen von Fr. 10'048.80.

4.14.2 Leistungsoptimierung



In einem Leistungsoptimierungssystem werden Energieimpulse des Elektrozählers aufsummiert. Eine Trendüberwachung überprüft laufend, ob der vorgegebene Leistungssollwert überschritten wird. Wenn eine Überschreitung absehbar ist, werden vorher definierte Verbraucher automatisch abgeschaltet

Abbildung 4.18: Leistungsüberwachung am Beispiel von Online - Werten. Quelle [14]

Über eine Auswertungssoftware können die Schaltungen ausgewertet und bei Bedarf angepasst werden.

Auswertungen können z.B. sein:

- Anzahl Schalthandlungen je Laststufe
- Dauer der Schalthandlungen je Laststufe
- Auswahl des darzustellenden Bereichs (Tag, Woche, Monat)

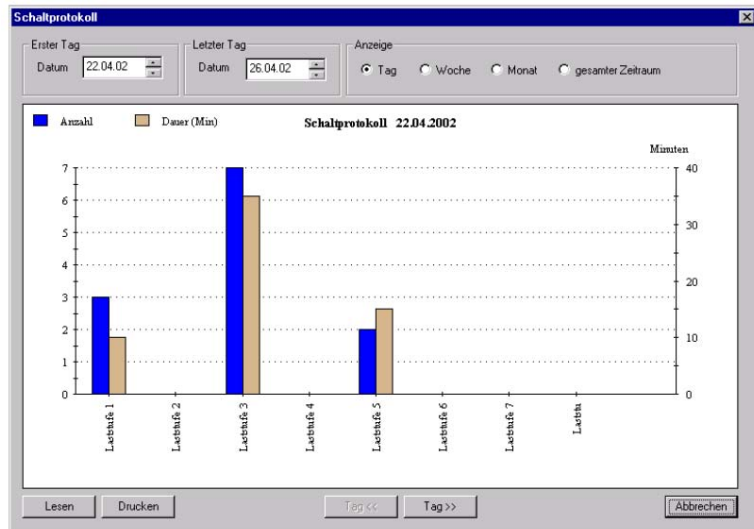


Abbildung 4.19: Auswertung der Schaltungen der Spitzenlastoptimierung. Quelle [14]

4.14.3 Massnahmen und Einsparpotential Leistungsoptimierung

Folgende Massnahmen wurden vorgeschlagen:

Installation eines Leistungsüberwachungssystems mit zugehöriger Software für die Überwachung. Als abschaltbare Verbraucher sind Trockenkammern und die Aussenhackanlage definiert.

Beschreibung der Massnahme	voraussichtliche Einsparungen		Investition, Amortisation, Ertrag			Massnahme ausgeführt
	Kosten [SFr]	Leistung [kW]	Investition [SFr]	Amortisationszeit [Jahre]	Zinsertrag [%]	
Installation eines Leistungsüberwachungssystems	7'500	118	17'200.-	2.29	34%	Die Massnahme wird im Moment nicht ausgeführt, da sie organisatorisch mit dem vorhandenen Personal nicht überwacht werden kann.

Tabelle 4.8: Massnahmen und Einsparpotential Leistungsreduktion

4.14.4 Allgemeine Bemerkungen zu Spitzenlastoptimierungssystemen

Damit eine Spitzenlastoptimierung überhaupt ausgeführt werden kann, müssen Verbraucher vorhanden sein, die abschaltbar sind.

Die Trocknungssysteme eignen sich gut für eine elektrische Leistungsbewirtschaftung, da die Trocknung unterbrochen werden kann. Die elektronische Steuerung muss allerdings weiterlaufen. [2, Seite 46]

Hohe Anlaufströme von Maschinen haben praktisch keine Wirkung auf die Leistungskosten, weil die kurze Anlaufzeit innerhalb der 15 Minuten dauernden Messung unbedeutend ist. [1]

Entscheidet man sich für ein Spitzenlast-Optimierungssystem sind folgende Punkte zu beachten:

- Das System sollte einer Trend-Berechnung für die Leistungsperiode (z.B. 15 Minuten) ausführen.
- Das System sollte die Möglichkeit bieten, Auswertungen der Schaltungen zu machen
- Die Sollwerte sollten nicht zu hoch und nicht zu tief sein (Sind sie zu hoch, könnte mehr eingespart werden, da noch mehr Potential für Abschaltungen vorhanden wäre; sind sie zu tief, schalten Verbraucher aus und sind nicht verfügbar, obwohl die Ausschaltungen keinen Effekt mehr haben, weil der Sollwert nicht erreicht wird.)

Je nachdem ist das System zu überwachen (bedienen, auswerten, Werte anpassen, usw.). Zum Beispiel bei jahreszeitlichen Schwankungen der Leistungen.

Einsetzen eines Spitzenlast-Optimierungssystems für die Leistungsoptimierung mit Möglichkeit der Trendberechnung und Auswertung der Schaltungen.

4.15 Blindstromkompensation

4.15.1 Ausgangslage

Verbraucher mit Induktivanteil wie Motoren, Transformatoren oder Vorschaltgeräte bewirken im Betrieb eine Phasenverschiebung zwischen der Wechselspannung und dem Stromfluss. Entsprechend der Phasenverschiebung fliesst ein Blindstrom, der die Übertragungsleitungen und Unterwerke belastet und zu Stromwärmeverlust und Spannungsabfall in der Anschlussleitung führt. [9, Seite 170]

Diese Blindströme belasten das Netz und die Transformatoren. Bei der Firma Schilliger AG sind in den Hauptverteilungen, und auch teilweise direkt bei den Verbrauchern (z.B. bei der Heizung), Blindstromkompensationen vorhanden und werden betrieben. Der Grenzwert des energieliefernden Werkes wurde in den letzten vier Jahren nicht überschritten, das heisst vom Energielieferanten wurde keine Blindenergie verrechnet. Das Verhältnis des zulässigen Blindstromverbrauches gegenüber der bezogenen Wirkenergie wird vom EW mit 0.4 (als Grenze) angegeben.

Durch den Umbau des Zählers auf ein Fernzählsystem (mit der Möglichkeit der Fernauslesung) änderten sich auch die Erfassung und der Grenzwert. Neu ist ein Grenzwert für den fakturierbaren Energieanteil Blind von 0.5 festgelegt (0.5 x Wirkenergie). Dieser Grenzwert wurde im September einige Male überschritten. Die Kompensationsanlagen wurden darauf hin überprüft und revidiert. Seither reicht es immer knapp, dass fast keine Blindenergie verrechnet wird.

Das Verhältnis Blindenergie / Wirkenergie liegt am Tag bei ca. 0.2 bis 0.5.

Kann der Blindstrom weiter reduziert werden, so verringern sich die Übertragungs- und Transformatorenverluste.

4.15.2 Massnahmen Blindstromkompensation

Weitere Reduktion der Blindströme durch Verringerung der Leerlaufzeiten der Motoren.

4.16 Kennzahlen als Führungsinstrument

4.16.1 Messungen am Hauptstromzähler

Im Sommer 2003 wurde der bestehende Zähler durch einen neuen Zähler ersetzt. Die Daten und Werte können nun über das Internet als ¼ Stundenwerte abgefragt werden [c]. (Siehe dazu auch Kapitel "Messungen am Haupt-Elektrozähler".)

Der Elektroverbrauch (Wirkenergie, Blindenergie und Wirkleistung) wird seither von der Firma Schilliger regelmässig beobachtet und ausgewertet.

Mit einem regelmässigen Erfassen von Energie- und Verbrauchsdaten sowie der Produktionswerte können Kennzahlen gebildet werden (z.B. Elektroenergie pro produzierter Tonne).

Auch werden Störungen oder Veränderungen, welche sich negativ auf den Stromverbrauch auswirken, erkannt.

4.16.2 Messungen von Unterverteilungen

Durch den Einbau von Elektrozählern bei Unterverteilungen kann das Energiemanagement verfeinert werden. Dabei ist es von Vorteil, wenn die Werte aus den Zählern automatisch ausgelesen und in einem PC ausgewertet werden können.

4.17 Organisatorische und betriebliche Massnahmen

4.17.1 Allgemeine Bemerkungen zur Mitarbeitersensibilisierung

Immer wieder wurden bei den Begehungen im Betrieb Maschinen, Motoren und Anlagen angetroffen, die laufen, obwohl sie nicht gebraucht wurden.

Viele Funktionen können nicht oder nur unbefriedigend automatisiert werden. Der Mensch wäre ein optimales "Regel- und Schaltgerät". Damit nun ein optimales Handeln erfolgt, muss der Mitarbeiter auf die entsprechende Thematik sensibilisiert sein.

Interessant ist, dass in gewissen Situationen Handlungen ausgeführt werden und in anderen nicht. Hier zwei Beispiele: Bei den Begehungen wurde die Kabine des Maschinenführers der Anlieferung betreten. Dem Maschinenführer wurde zugeschaut. Auf Grund der Beurteilung der angelieferten Ware schaltete er die Kappsäge (eine Kreissäge mit einem 45 kW-Motor) aus und er braucht sie während der ganzen Anlieferung nicht. Wir fragten ihn, wieso er das machte und ob er das immer machte. Er sagte er habe es jetzt gemacht, weil es wusste, dass ein Energiesparprojekt im Gange ist. Zweites Beispiel: Für Messungen an der Entsorgung wurde an einer Sitzung festgelegt, dass die Entsorgung konsequent abgestellt werden soll, so auch während der Znüni-Pause und über die Mittagszeit. Die Auswertungen der Messungen ergaben, dass diese Anweisung nicht befolgt wurde und die Anlage während der ganzen Woche in der Znüni-Pause durchlief.

Mitarbeitersensibilisierung und das Durchsetzen von Anweisungen ist eine Kunst. Ein energiesparendes Verhalten muss immer wieder auf allen Hierarchiestufen eingeübt und wiederholt werden. Wichtig ist auch eine gute und klare Information, dass nicht falsche Handlungen ausgeführt werden, die am Schluss einen Mehraufwand (energetisch oder bezogen auf die Instandhaltung) ergeben.

4.17.2 Massnahmen Mitarbeitersensibilisierung

Den Mitarbeitern ist nicht bewusst, wie viel Energie in der Druckluft steckt. Kaputte Schläuche sind nur beim Instandhaltungspersonal ein Thema. Luft ist ja einfach da.

Damit sich die Mitarbeiter in der Produktion bewusst sind, wie wertvoll die Druckluft ist, wurde ihnen ein Blatt abgegeben, mit Beispielen wie viel z.B. Druckluftlecks verschiedener Grösse kosten.

Weitere Massnahmen sind nötig und werden von der Geschäftsleitung angeordnet respektive umgesetzt.

Weitere Massnahmen könnten z.B. sein:

- Mitarbeiterorientierung bezüglich Energiesparen in Form eines Anlasses mit dem konkreten Aufzeigen des Energieverbrauches und des korrekten energiesparenden Verhaltens. Dabei sollte es möglich sein, dass die Mitarbeiter aktiv einbezogen werden, und dass sie Fragen stellen können.
- Energieverbrauchskurven an Anschlagbrett anbringen.
- Tipps für ein energiesparendes Verhalten der Mitarbeiter.
- Aktionswochen oder Aktionsmonate mit Schwerpunkten (z.B. alle Maschinen werden abgestellt, wenn sie nicht gebraucht werden). Eventuelle positive Resultate können gemessen (siehe Kapitel "Messungen am Hauptstromzähler") und den Mitarbeitern mitgeteilt werden.
- Abgeben von konkreten Empfehlungen für ein energiesparendes Verhalten (z.B. ab wann lohnt es sich eine Maschine ab zu stellen). Dabei ist es wichtig an der Basis zu arbeiten, in den Abteilungen, bei den Mitarbeitern.

4.18 Verschiedenes

4.18.1 Hinweis zur Beheizung von Räumen mit Elektroheizungen

In den Kabinen der Maschinenführer wurden häufig 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. [1, Seite 19]

An Stelle von Direktheizungen könnten auch Wand- Elektrowärmepumpen eingesetzt werden, wie sie als Ersatz von elektrischen Widerstandsheizungen im Wohnbereich eingesetzt werden.

4.19 Zusammenfassung der Massnahmen

Auf den folgenden Seiten sind die Massnahmen in Stichworten aufgeführt sowie die Energien und Kosten zusammengestellt.

Schilliger Holz AG										Version	P1.2	Datum	26.07.2004
Zusammenstellung Massnahmen und Einsparpotential													
Grundlagen													
		Hochtarif	(07:00 bis 22:00)		Niedertarif	(22:00 bis 07:00)							
Stromkosten Energie		[Fr. / kWh]	0.10	15 h	0.07	9 h	24 h						
Stromkosten Leistung		[Fr. / kW]	5.30										
(die Kosten sind als Beispielwerte zu betrachten, bei höheren Stromkosten reduzieren sich die Amortisationszeiten entsprechend)													
Massnahmen	Energie-, Leistungs- Einsparung				Kosten Einsparung			Investitions-	Amortisations-	Lebensdauer	Zinsertrag	Bemerkungen	
	Hochtarif	Niedertarif	Gesamt	Leistung	Hochtarif	Niedertarif	Leistung/Gesamt	kosten	Zeit *1	der Massnahme	pro Jahr *2		
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kW]	[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]	[Jahre]	[Jahre]	[%]		
1. Druckluft													
Absenken des Betriebsdruckes			112'951				12'425	1'000	0.08	10	1233%		
Leckstellen abdichten Sägerei			147'727				16'250	28'250	1.74	2	8%		
Leckstellen abdichten übriges Netz			118'509				13'036	15'000	1.15	1.25	7%		
Absperrern von Verbrauchsbereichen			44'326				4'875						
Leitung vergrössern (neue Hauptleitung zu Leimwerken)													
Optimierung Steuerung / Regulierung (FU+Kompressorleitsystem)			90'900				10'000	70'000	7.00	10	4%		
Optimierung Druckverlust Adsorptionstrockner			37'650				4'100						
Energiecontrolling			9'000				1'000	2'000	2.00	10	40%		
Organisatorische Massnahmen: Mitarbeiter-Information, Leckstellen-Meldung			10'876				1'214	1'000	0.82	1	21%		
Druckluftbedarf an Maschinen senken													
Absaugung für Reinigung, andere Düsen													
Druckluftkupplungen mit geringerem Druckverlust													
Belüftung / Wärmeabfuhr im Kompressorenraum optimieren													
Abwärmenutzung (z.B. für Schärferei)													
2. Absauganlagen													
Ersatz Anlage Leimwerk 1 (LW1)			229'959				26'908	140'000	5.20	10	9%		
Umbau Leimwerk 2 auf bedarfsgerechten Betrieb			41'355				4'608	15'000	3.26	7	16%		
Umbau Sägerei auf bedarfsgerechten Betrieb			21'952				2'415	10'000	4.14	7	10%		
Rückführung Abluft in Raum (LW1)			3'543				390	-					
3. Wärmeerzeugung													
FU für Rauchgasventilator			10'080				1'109	5'000	4.51	7	8%		
Verringerung des Wärmeenergiebedarfes													
4. Heizungsnetz													
Hydraulische Einregulierung, Ersatz von Pumpen													
Einsatz von Strahlpumpen												Amortisationszeit auf Grund von Zahlen aus ähnlichen Projekten (Holztrocknung): 1.5 bis 5 Jahre	
5. Trockenkammern													
Ausrüsten TK 5 mit best. FU			43'919	9.28			4'979	4'000	0.80	10	114%		
Ausrüsten TK 10 mit FU			67'910	14.36			7'698	11'000	1.43	10	60%		
6. Bedarfsgerechtes Schalten von Verbrauchern													
manuelles Schalten		15'100	-				1'510.00	1'050	0.70	1.73	86%		
optimiertes Schalten Aussenhackanlage		900	-				90.00	-					
optimiertes Schalten Entsorgung		3'900	-				390.00	-					
oganisatorische Massnahmen Keilzinkenanlage		-	-				-	-					
7. Heben und Senken von Lasten													
Netzzrückspeisung Portalkran		-	-				-	-					

Massnahmen	Energie-, Leistungs- Einsparung				Kosten Einsparung			Investitions- kosten	Amortisations- Zeit ¹ [Jahre]	Lebensdauer der Massnahme [Jahre]	Zinsertrag pro Jahr ² [%]	Bemerkungen
	Hochtarif	Niedertarif	Gesamt	Leistung	Hochtarif	Niedertarif	Leistung/Gesamt					
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kW]	[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]					
8. Vermindern von Reibung												
Vermindern von Reibung	-	-			-	-		-				
9. Prozessoptimierungen												
Prozessoptimierung	-	-			-	-						
10. Beleuchtung												
Ersatz der Beleuchtung in Leimwerk 1	-	-			-	-		-				
11. Leistungsoptimierung												
Spitzenlastmanagement	-	-		118.00	-	11.80	7'500	17'200	2.29	10	34%	
12. Blindstromkompensation												
Verminderung der Übertragungs- und Umwandlungsverluste durch Reduktion der Blindströme					-	-		-				
13. Kennzahlen als Führungsinstrument												
Bilden von Kennzahlen (Elektroenergie pro produzierter Tonne)		-			-	-		-				
14. Organisatorische und betriebliche Massnahmen												
Mitarbeitersensibilisierung	-	-			-	-		-				
Arbeitsanweisungen												
15. Verschiedenes												
Abwärmenutzung	-	-			-	-		-				
Total	19'900	-	990'657	142	1'990	12	118'506	320'500	2.66			
			1'010'557				120'508					
Gesamtstromverbrauch 2002	4'658'600	1'170'100		6'060	475'001	80'780	123'490					
					27'171		706'442					
				17.3%			17.1%					
¹ Die Amortisationszeit wurde als einfaches Verhältnis der Investition gegenüber der Einsparung gerechnet. Eine Verzinsung des investierten Kapitals wurde nicht berücksichtigt.												
² Wenn Fr.100.- auf der Bank zu 5% verzinst werden, erhält man Ende Jahr Fr. 5.- als Zinsbetrag. Wird eine Stromsparmassnahme realisiert, welche pro Jahr Fr. 100.- kostet (eine Lebensdauer von einem Jahr hat) und Einsparungen pro Jahr von Fr. 120.- ergibt, so erhält man die investierten Fr. 100.- zurück und dazu noch Fr. 20.-, was einem Zins von 20% entsprechen würde. (Als Berechnung einfache Verhältnisbildung: (((Lebensdauer der Massnahmen * Einsparungen)-Investitionskosten) / Investitionskosten) / Lebensdauer [%] Pro Jahr, ohne Berücksichtigung von Zinseszinsen.)												

5. Erfolgskontrolle, Nachmessungen

Nach dem Ausführen der Massnahmen zur Einsparung der Elektroenergie wurden, wo es möglich war, Nachmessungen zur Erfolgskontrolle ausgeführt und Kosten und Nutzen einander gegenübergestellt.

5.1 Druckluft

5.1.1 Eliminieren der Druckluftlecks

5.1.1.1 Ermittlung der Daten

Bevor die Arbeiten an den Druckluftlecks angegangen wurden, lief ein Kompressor alleine nur um die Leckverluste zu decken.

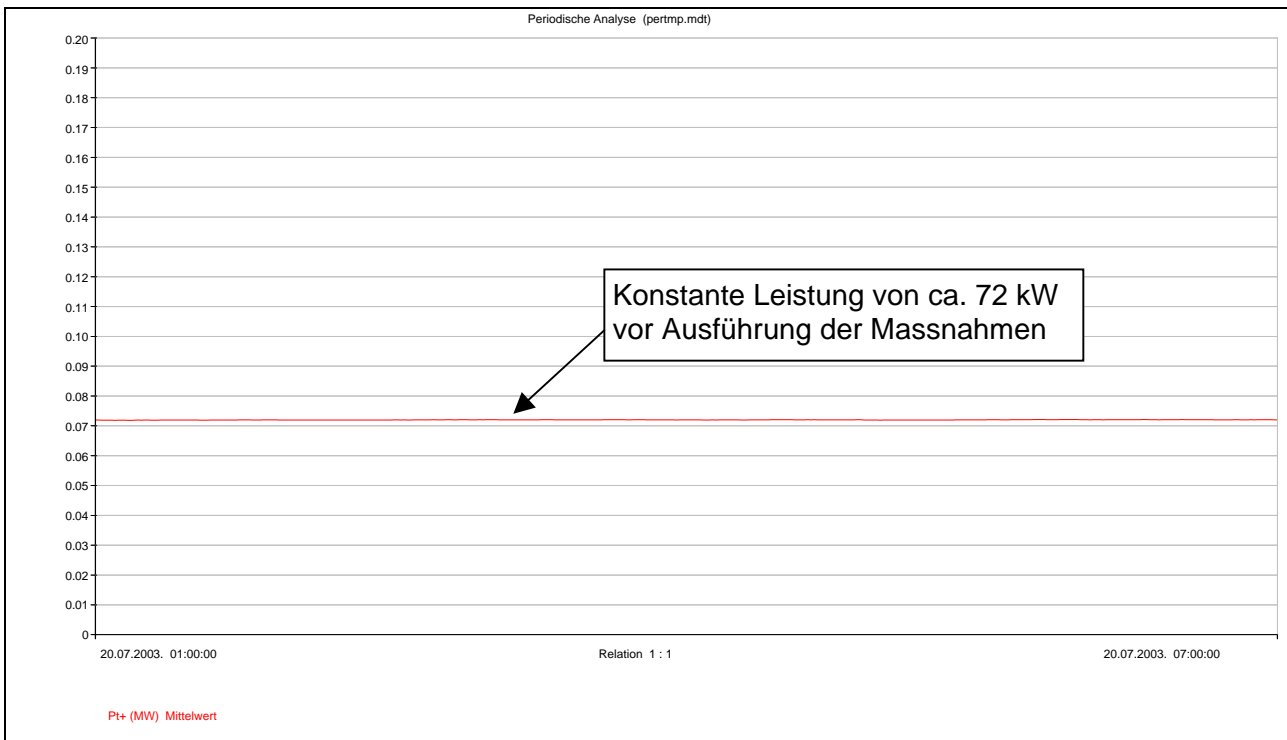


Abbildung 5.1: Aufzeichnung des Mittelwertes der Leistung mit Elektromessgerät [A] aller Druckluftkompressoren. Die Anlage wurde bewusst laufen gelassen. Ein Kompressor mit einer Leistung von ca. 71 kW wird für die gesamten Leckverluste benötigt.

Der Energiebedarf für 24 Stunden (am 20.07.2003 von 00:00 bis 23:59) beträgt 1'718 kWh, pro Stunde 71.58 kWh. Als Geldbetrag ergibt das pro Tag (24h) Fr. 189.-.

Nach Behebung der Lecks zeigte sich folgende Situation:

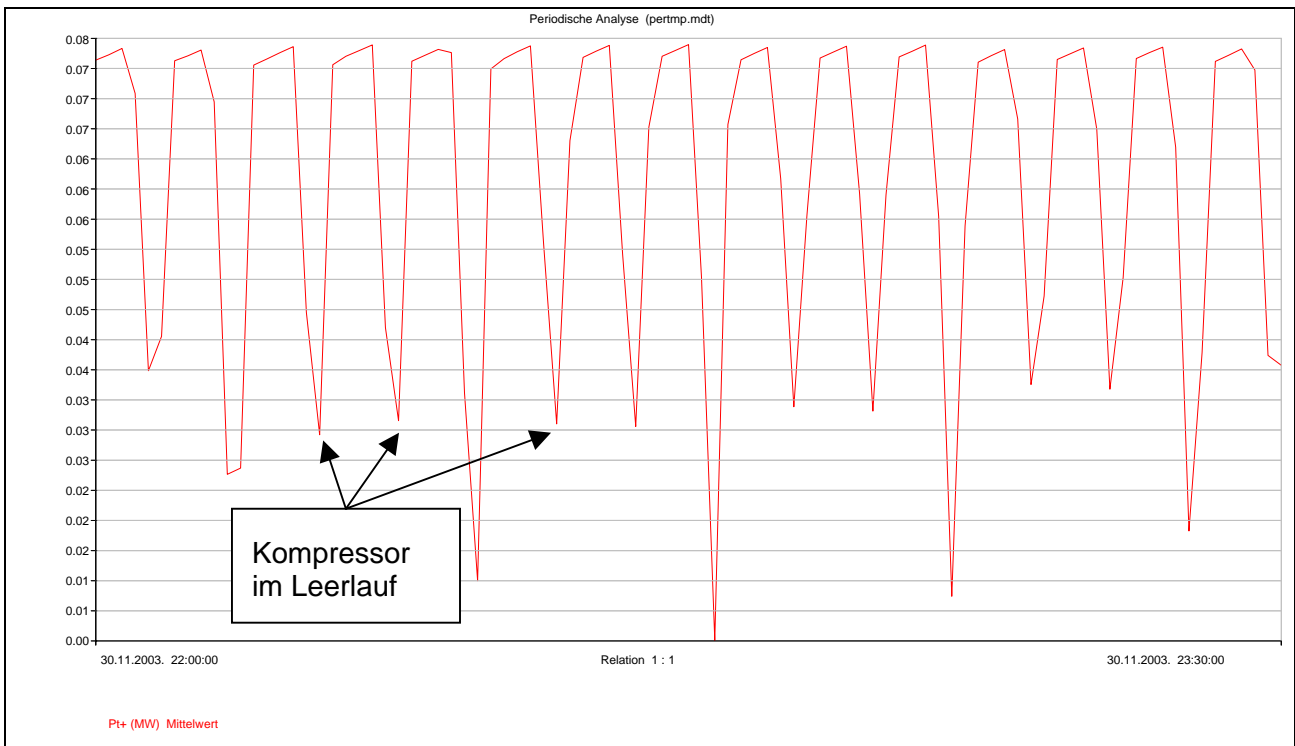


Abbildung 5.2: Mittelwert der Leistung (während ca. 1 ½ Stunden) nach Behebung der Lecks in der Sägerei. Gegenüber dem vorherigen Bild sind die Schaltungen des Kompressors zu erkennen. Die Kompressoren wurden bewusst bei abgestellter Produktion laufen gelassen um die Energien für die Lecks zu erfassen.

Der Energiebedarf für Leckverluste beträgt am 30.11.2003 und 01.12.2003 in der Zeit zwischen 22:00 und 02:00 Uhr pro Stunde ca. 62.5 kWh (inkl. Leerlauf und Anläufe).

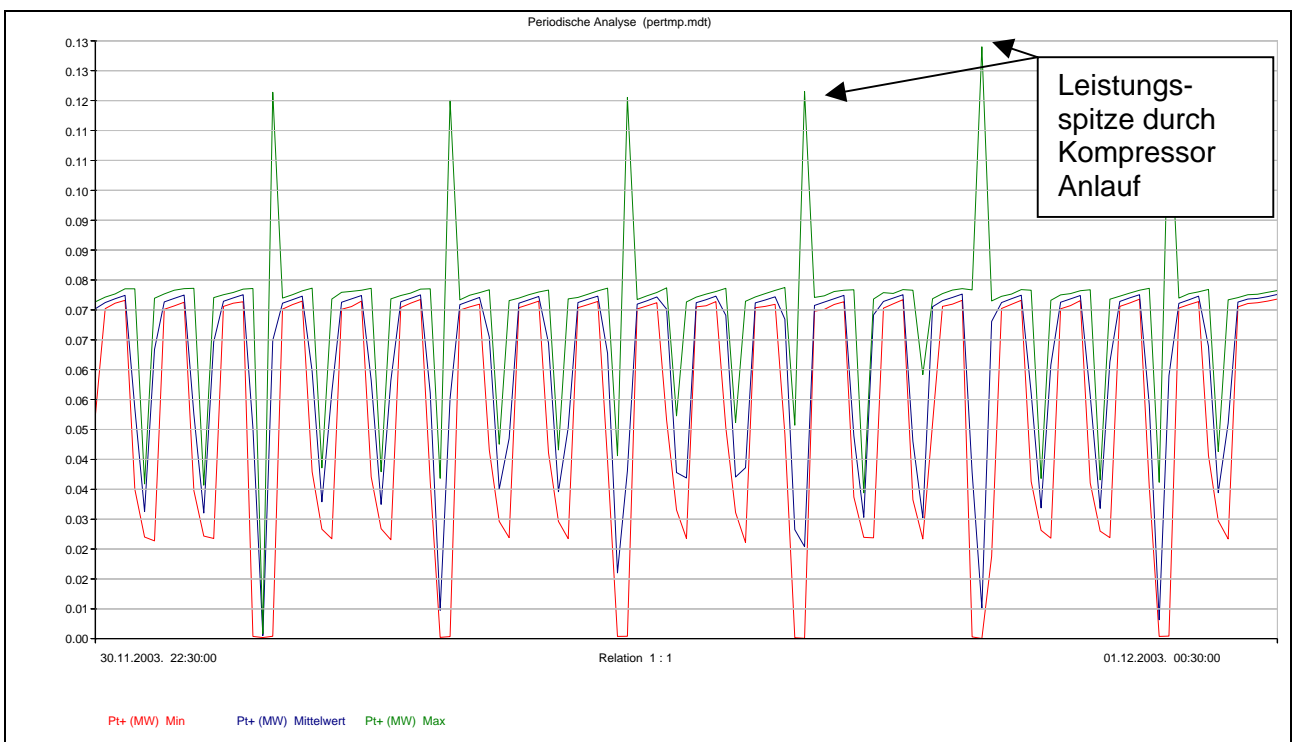


Abbildung 5.3: Mittelwert, sowie minimale und maximale Leistung bei abgestellten Produktionsanlagen. Die Leerlaufzeiten und die Anläufe sind gut zu erkennen.

Für die Druckluftproduktion (also die Leckverluste) dürfen jedoch nur die Leistungen grösser ca. 70 kW betrachtet werden. Die übrigen Leistungen sind Leerlauf-, Auslauf- und Anfahrlleistungen.

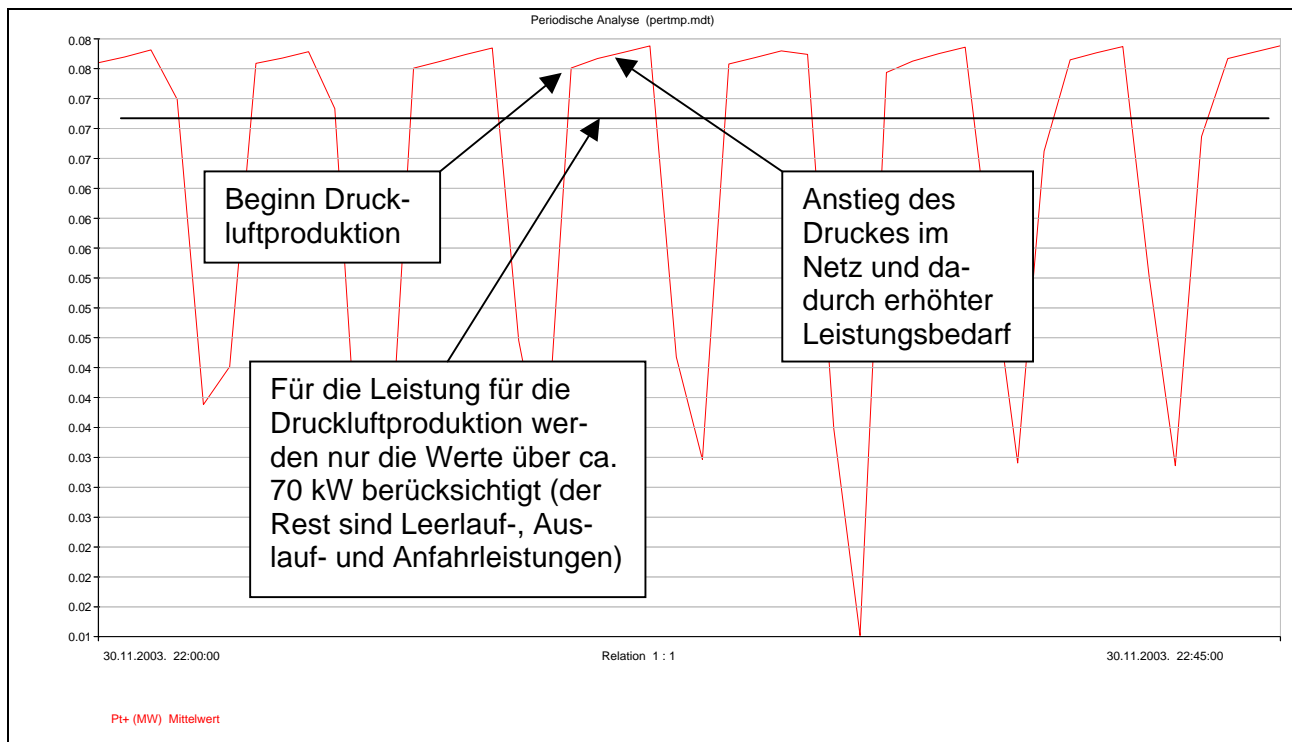


Abbildung 5.4: Mittelwert der Leistung mit Anlauf-, Leerlauf- und Auslaufleistung.

Werden die Daten so ausgewertet, dass die Anlauf-, Leerlauf- und Auslaufleistung eliminiert werden so ergeben sich pro Stunde Energiewerte von 45 kWh. Die mittlere Laufzeit beträgt 36 Minuten. Wird dieser Energiebedarf (also der Wert für die effektive Druckluftproduktion) mit dem Wert vor den Massnahmen verglichen ergibt sich eine Einsparung von 71.58 kWh minus 45 kWh gleich 26.58 kWh. Dies ergibt eine Einsparung von 37%. Auf ein Jahr umgerechnet ergibt das Einsparungen von ca. 16'250.- (37 % von 43'929.- gemäss Kapitel 4.1.1 Leckverluste).

Wird eine Abschätzung der Leckluftmenge mittels der Behältermethode gemacht (vergleiche Kapitel Messungen) so ergibt sich in etwa eine Halbierung der Leckverluste für den Produktionsbereich Sägerei.

Die Umsetzung der Massnahmen (Schliessen der Lecks in Sägerei) benötigte Investitionen von ca. Fr. 28'250.-.

Der Aufwand für die Leckbehebung war recht gross: Die Druckluftlecks konnten nur in arbeitsfreier Zeit (z.B. Samstag) behoben werden. Die meisten Lecks waren in den Maschinen (Druckluftzylinder, Pilotventile). Die Leckagen mussten für alle Schaltstellungen der Maschine gesucht werden. Die Reparaturarbeiten gestalteten sich ebenfalls aufwändig (Ausbau der Zylinder, Beschaffen und Ersetzen der Dichtungen).

5.1.2 Absperren von Verbrauchsbereichen des Druckluftnetzes

Die Umbauarbeiten waren bis zur Fertigstellung des Schlussberichtes noch nicht abgeschlossen. Die Einsparung kann im Moment nicht gemessen und dokumentiert werden.

5.1.3 Zusammenstellung der Werte Druckluft

Die als Prozentzahl angegebenen Werte sind bezogen auf die Betrachtungseinheit.

Betrachtungseinheit: Druckluftherzeugung ohne Aufbereitung. Die Einsparungen beziehen sich nur auf die Elektroenergiekosten. Weitere Einsparungen (z.B. Instandhaltungskosten) wurden nicht berücksichtigt. Sie verbessern das Resultat.

Die abgeschätzten Energiekosten pro Jahr für die Druckluftherzeugung beziehen sich nur auf den Elektrizitätsverbrauch (ohne Aufbereitung wie z.B. Trocknung, die Druckverluste der Filtration sind jedoch eingerechnet). Ebenfalls nicht eingerechnet, sind die Leistungskosten Elektro.

Gesamtenergieverbrauch Betrachtungseinheit 731'651 kWh (vor Massnahmen)

Elektroenergiekosten Betrachtungseinheit 80'481 SFr. (vor Massnahmen)

Beschreibung der Massnahme	Einsparungen			Investition, Amortisation, Ertrag		
	theoretisch	gemessen		Investition [SFr]	Amortisationszeit *1 [Jahre]	Zinsertrag *2 [%]
	Energie theoretisch ermittelt [kWh]	Energie gemessen [kWh]	Kosten [SFr]			
Eliminieren der Leckverluste im Bereich Sägerei	Wurde nur für ganzen Bereich ermittelt mit 266'236 36%	147'727 20% (nur Bereich Sägerei)	16'250.- 20%	28'250.-	1.74	8%
automatische Absperrklappe für Netzabsperungen mit Schalter Druckluftbedarf in Zonen einbauen						

Tabelle 5.1: Gemessene Einsparungen Druckluft

*1 Die Amortisationszeit wurde als einfaches Verhältnis der Investition gegenüber der Einsparung gerechnet. Eine Verzinsung des investierten Kapitals wurde nicht berücksichtigt.

*² Wenn Fr.100.- auf der Bank zu 5% verzinst werden, erhält man Ende Jahr Fr. 5.- als Zinsbetrag. Wird eine Stromsparmassnahme realisiert, welche pro Jahr Fr. 100.- kostet (eine Lebensdauer von einem Jahr hat) und Einsparungen pro Jahr von Fr. 120.- ergibt, so erhält man die investierten Fr. 100.- zurück und dazu noch Fr. 20.-, was einem Zins von 20% entsprechen würde.
(Als Berechnung einfache Verhältnisbildung: $((\text{Lebensdauer der Massnahmen} * \text{Einsparungen}) - \text{Investitionskosten}) / \text{Investitionskosten} / \text{Lebensdauer} [\%]$ pro Jahr, ohne Berücksichtigung von Zinseszinsen.)

5.2 Absauganlagen

5.2.1 Ersatz Absauganlage Leimwerk 1

Die Umbauarbeiten waren bis zur Fertigstellung des Schlussberichtes noch nicht abgeschlossen. Die Einsparung kann im Moment nicht gemessen und dokumentiert werden.

5.2.2 Umbau Leimwerk 2 auf bedarfsgerechten Betrieb

Die Umbauarbeiten waren bis zur Fertigstellung des Schlussberichtes noch nicht abgeschlossen. Die Einsparung kann im Moment nicht gemessen und dokumentiert werden.

5.2.3 Zusammenstellung der Werte Absauganlagen

Betrachtungseinheiten: Ventilatoren der Absauganlagen der einzelnen Werke, nur Elektroenergieverbrauch (z.B. Verbrauch der Absaugventilatoren im Leimwerk 2). Abreinigung der Filter in den Silos, Spänetransport zu den Hauptsilos usw. sind nicht berücksichtigt. Die Leistungskosten sind berücksichtigt und in den Kostenangaben enthalten.

Gesamtenergieverbrauch Ventilatoren Leimwerk 1	322'320 kWh	(vor Massnahmen)
Elektroenergiekosten Ventilatoren Leimwerk 1	40'480 SFr.	(vor Massnahmen)
Gesamtenergieverbrauch Ventilatoren Leimwerk 2	322'320 kWh	(vor Massnahmen)
Elektroenergiekosten Ventilatoren Leimwerk 2	40'480 SFr.	(vor Massnahmen)
Gesamtenergieverbrauch Ventilatoren Sägerei	75'480 kWh	(vor Massnahmen)
Elektroenergiekosten Ventilatoren Sägerei	8'303 SFr.	(vor Massnahmen)

Beschreibung der Massnahme	Einsparungen			Investition, Amortisation, Ertrag		
	theoretisch	gemessen		Investition [SFr]	Amortisationszeit [Jahre]	Zinsertrag [%]
Energie theoretisch ermittelt [kWh]	Energie gemessen [kWh]	Kosten [SFr]				
Ersatz der Anlage Leimwerk 1	229'959 71%					
Absauganlage Leimwerk 2 auf bedarfsgerechten Betrieb umrüsten	41'355 21%					

Tabelle 5.2: Gemessene Einsparungen Absauganlagen

5.3 Trockenkammern

5.3.1 Ausrüsten der Trockenkammern mit Frequenzumformer

Die Umbauarbeiten waren bis zur Fertigstellung des Schlussberichtes noch nicht abgeschlossen. Die Einsparung kann im Moment nicht gemessen und dokumentiert werden.

Beschreibung der Massnahme	Einsparungen			Investition, Amortisation, Ertrag		
	theoretisch	gemessen		Investition [SFr]	Amortisationszeit [Jahre]	Zinsertrag [%]
Energie theoretisch ermittelt [kWh]	Energie gemessen [kWh]	Kosten [SFr]				
Ausrüsten der Trockenkammer 5 mit bestehendem FU für Ventilatoren	43'919 9%					
Ausrüsten der Trockenkammer 10 mit FU für Ventilatoren	67'910 15%					
Gesamt-Einsparung Betrachtungs-Einheit	111'829 24%					

Tabelle 5.3: Gemessene Einsparungen Trockenkammern

6. Vorgehensweise für die Ermittlung von Daten

6.1 Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen mit der Behältermethode

Ist ein Druckluftbehälter vorhanden, können mit diesem Verfahren die Leckverluste abgeschätzt werden. Das Verfahren ist in [11, Kapitel 7.8, Seiten 38/39] und in [7, Seiten 165] beschrieben. Bei grossen Leistungsnetzen ist der Netzinhalt ebenfalls zu berücksichtigen.

$$V_L = \frac{V_B \cdot (p_A - p_E)}{t}$$

V_L	=	Leckagemenge	[Liter/min]
V_B	=	Volumen Druckbehälter und Leitungen	[Liter]
p_A	=	Druckbehälter Anfangsdruck	[barü]
p_E	=	Druckbehälter Enddruck	[barü]
t	=	Messzeit	[min]

Voraussetzung:

Sämtliche Verbraucher sind abgestellt.

Eine ausgewählte Messung und nachfolgende Ermittlung der Werte ist im Kapitel "Detaillierte Messresultate und Berechnungen" als Beispiel eingefügt.

6.2 Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen durch die Einschalt Dauermessung

Die zweite Methode zur Bestimmung der Leckagemenge V_L ist die über die Einschalt dauermessung des Kompressors. Diese Methode ist nur bei Kompressoren mit Aussetz- und Leerlaufbetrieb anwendbar. Die Verbraucher am Netz sind abgeschaltet. Durch die Leckage im System wird Druckluft verbraucht und der Netzdruck sinkt. Der Kompressor muss diese Leckagemenge ersetzen. Über eine Messzeit T wird die Gesamtlaufzeit $\sum t$ des Kompressors gemessen. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, sollte die Messzeit T wenigstens 5 Schaltintervalle des Kompressors umfassen. Mit der folgenden Formel ist die Leckagemenge V_L näherungsweise zu bestimmen:

$$V_L = \frac{V_{LK} \cdot \sum t \cdot (1000 \cdot l / m^3)}{T}$$

V_L = Leckagemenge [Liter/min]

V_{LK} = Liefermenge des Kompressors [m^3 /min]

$\sum t$ = Gesamtlauzeit des Kompressors [s]

$$\sum t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

T = Messzeit [s]

6.3 Checkliste für die Behebung von Druckluftlecks

Der Druckluftverlust ist der Verbrauch von Druckluft (Leckage) im Rohrleitungsnetz ohne geleistete Arbeit. Die Summe dieser Verluste kann in ungünstigen Fällen bis zu 25 % der gesamten Liefermenge des Kompressors erreichen (gemäss Literatur [12]). Es wurden jedoch auch schon Leckverluste von 60-70% (siehe Kapitel 4.1.1.2 in diesem Bericht) oder sogar 75% (gemäss Literatur [15] Seite 1) gemessen.

Die Ursachen sind vielfältig:

- Undichte Ventile.
- Undichte Schraub- und Flanschverbindungen.
- Undichte Zylinder.
- Undichte Schweissnähte oder Lötstellen.
- Defekte Schläuche und Schlauchkupplungen.
- Defekte Magnetventile.
- Festsitzende Schwimmerableiter.
- Falsch installierte Trockner, Filter und Wartungseinrichtungen.
- Korrodierte Leitungen.

Druckluftverluste durch Leckage sind in den üblichen Druckluftsystemen leider unvermeidlich. Die Zusatzkosten durch die Leckage mindern die Wirtschaftlichkeit des Druckluftsystems erheblich. Zur Reduzierung dieser Verluste können Massnahmen ergriffen werden, die ihrerseits natürlich Kosten verursachen.

Diese Kosten übersteigen allerdings irgendwann die Einsparungen durch die Minderung der Druckluftverluste. Das Ziel muss es also sein, die Druckluftverluste bei akzeptablem Aufwand zu minimieren.

Daraus ergeben sich Leckagemengen, die aus wirtschaftlichen Gründen toleriert werden sollten:

- max. 5 % bei kleineren Netzen.
- max. 7 % bei mittleren Netzen.
- max. 10 % bei grösseren Netzen.
- max. 13 - 15 % bei sehr grossen Netzen.

z.B. Giessereien, Stahlwerke, Werften u.ä.

Die Mitarbeiter sollten dazu angehalten werden, Leckstellen und Schäden am Netz bei den verantwortlichen Stellen zu melden. Diese Schäden sind umgehend zu beheben. Bei kontinuierlicher Pflege ist eine kostenintensive Sanierung des Druckluftnetzes normalerweise überflüssig. Die Druckluftverluste bleiben im akzeptablen Rahmen.

Die Ermittlung von Leckstellen ist in den meisten Fällen relativ einfach. Grosse Undichtigkeiten machen sich durch Zischen bemerkbar. Kleine und sehr kleine Lecks sind schwieriger zu finden. Sie sind durch Abhören meist nicht zu lokalisieren. In diesen Fällen werden die Verbindungselemente, Abzweigungen, Ventile usw. mit einem Dichtheitsprüfmittel eingesprayed oder mit Seifenwasser abgepinselt. An undichten Stellen bilden sich sofort Blasen. Alternativ können Hilfsmittel (z.B. ein Ultraschall-Leckortungsgerät, z.B. Sonaphone ULS) verwendet werden.

Liegen ermittelte Leckagemengen eines Druckluftnetzes deutlich über den oben genannten Werten, sollte eine Sanierung des Netzes in Erwägung gezogen werden.

Bei der Sanierung eines Druckluftnetzes sind folgende Massnahmen zu ergreifen, um die Druckluftverluste zu reduzieren:

Behebung von Leckstellen

- Undichte Verbindungselemente nachziehen oder neu abdichten.
- Undichte Ventile und Schieber ersetzen.
- Undichte Zylinder reparieren.
- Undichte Schläuche und Schlauchkupplungen austauschen.
- Leckstellen an Rohrleitungen abdichten.
- Kondensatableiter modernisieren.
Mechanische Schwimmerableiter und zeitgesteuerte Magnetventile durch niveaugeregelte Kondensatableiter ersetzen.
- Druckluftaufbereitung modernisieren.
Schädliche Verunreinigungen wie Wasser, Öl und Staub aus der Druckluft entfernen.
- Magnetventile überprüfen.
Falls möglich, stromlos geschlossene Ventile installieren.
- Alte Rohrleitungen spülen oder ersetzen.
Der Innendurchmesser von alten Rohren ist häufig durch Ablagerungen reduziert. Das führt zu Druckabfall.
- Kupplungen und Rohranschlüsse überprüfen.
Querschnittsverengungen führen zu Druckabfall.
- Zeitweise Verkleinerung des Netzes.
Teilbereiche grosser Netze bei Betriebsruhe durch Absperrschieber abtrennen.

Quelle: teilweise von [12, Kapitel 7.3, Seite 120 und Seite 124]

6.4 Ermittlung der Wärmeleistung und des Wärmeenergiebedarfes für die Erwärmung der Ersatzluft von Absauganlagen

Die Absauganlagen saugen mit den Spänen und dem Sägemehl grosse Luftmengen ab. Die Luft selber ist dabei das Transportmedium.

Wird die dem Raum entnommene Abluft nicht in den Raum zurückgeführt, entsteht im Raum ein Unterdruck und die Luft strömt aus Nachbarräumen oder aus dem Freien in den Produktionsraum. Die Menge der nachströmenden Luft entspricht der dem Raum entnommenen Luftmenge (Abluft).

Diese Luftmenge muss im Winter erwärmt werden. In den nachfolgenden Kapiteln ist der Rechengang für die Ermittlung der Leistungs- und der Energiewerte aufgezeigt.

Die Berechnungen wurden für den Standort Luzern durchgeführt. Die Meteo Messstation Luzern liegt auf einer Höhe von 456 müM.

Mit zunehmender Höhe verringert sich die Luftdichte. Daher nimmt der Leistungsbedarf pro m³ Luft ab. Jedoch sind die Durchschnittstemperaturen in höheren Lagen meist tiefer. Somit erhöht sich der Energiebedarf. Auf eine Abschätzung für andere Standorthöhen wurde verzichtet, da dies den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde.

6.4.1 Ermittlung der Leistung für die Erwärmung der Ersatzluft

Das Aufheizen der Luft ist ein lufttechnischer Prozess. Die Berechnung erfolgte mit Hilfe der Software AHH [S1].

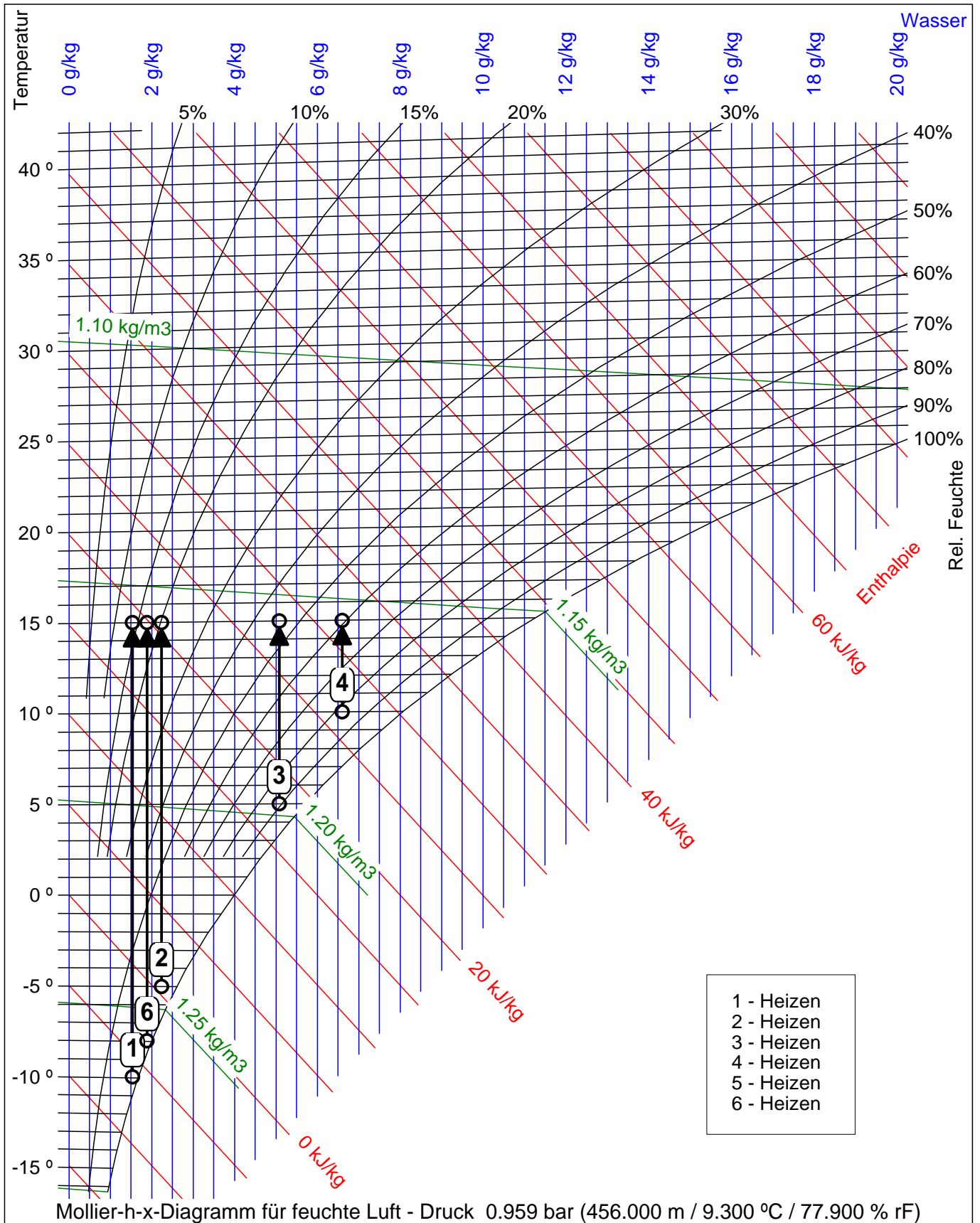
Grundlagen für die Berechnungen und die Darstellung im h-x-Diagramm waren:

Meereshöhe:	456 müM.
mittlere Jahrestemperatur von Luzern* ¹	9.3 °C
mittlere relative Feuchte von Luzern* ¹	77.9 % r.F.

*¹ die Werte der mittleren Jahrestemperatur und Feuchte sind der Software Meteonorm entnommen [S3].

Nachfolgend sind die Berechnungen der Leistung für das Aufheizen von 1'000 m³/h Luft von verschiedenen von Aussentemperatur auf 15°C eingefügt.

Die Temperaturen sind frei gewählt, die Feuchtigkeitswerte entsprechen dem Mittelwert der relativen Feuchtigkeit [S3] beim gewählten Temperaturwert für den Standort Luzern.



Schilliger Holz AG, CH - 6403 Küssnacht a.R.

16.12.2003 / dm

Absauganlagen
 Berechnung der Wärmeleistung

Winterfall

1) Heizen der Luft

Leistung	kW	8.874	
		Luft ein	Luft aus
Temperatur	°C	-10.000	15.000
Rel. Feuchte	%	92.000	13.940
Abs. Feuchte	g/kg	1.544	1.544
Dichte feucht	kg/m ³	1.268	1.158
Enthalpie feucht	kJ/kg	-6.228	18.998
Volumenstrom feucht	m ³ /h	1000.000	1094.999
Massenstrom trocken	kg/h	1266.295	1266.295

2) Heizen der Luft

Leistung	kW	6.968	
		Luft ein	Luft aus
Temperatur	°C	-5.000	15.000
Rel. Feuchte	%	86.000	20.218
Abs. Feuchte	g/kg	2.242	2.242
Dichte feucht	kg/m ³	1.244	1.158
Enthalpie feucht	kJ/kg	0.554	20.762
Volumenstrom feucht	m ³ /h	1000.000	1074.582
Massenstrom trocken	kg/h	1241.295	1241.295

3) Heizen der Luft

Leistung	kW	3.361	
		Luft ein	Luft aus
Temperatur	°C	5.000	15.000
Rel. Feuchte	%	89.000	45.640
Abs. Feuchte	g/kg	5.083	5.083
Dichte feucht	kg/m ³	1.197	1.156
Enthalpie feucht	kJ/kg	17.789	27.947
Volumenstrom feucht	m ³ /h	1000.000	1035.951
Massenstrom trocken	kg/h	1191.249	1191.249

4) Heizen der Luft

Leistung	kW	1.652	
		Luft ein	Luft aus
Temperatur	°C	10.000	15.000
Rel. Feuchte	%	82.000	59.110
Abs. Feuchte	g/kg	6.600	6.600
Dichte feucht	kg/m ³	1.175	1.155
Enthalpie feucht	kJ/kg	26.687	31.780
Volumenstrom feucht	m ³ /h	1000.000	1017.657
Massenstrom trocken	kg/h	1167.393	1167.393

6.4.2 Ermittlung der thermischen Energie für die Erwärmung der Ersatzluft

Mit den ermittelten Leistungswerten kann ein spezifischer Leistungsbedarf für die verschiedenen Temperaturdifferenzen errechnet werden:

$$q_{spez} = \frac{Q}{V \cdot \Delta t} \quad \text{Gemäss [19, Seite 41]}$$

- q_{spez} = spezifischer Leistungsbedarf für die Lufterwärmung [W/((m³/h) K)]
- Q = Wärmeleistung für Lufterwärmung [W]
- V = Luftvolumenstrom [m³/h]
- Δt = Temperaturdifferenz [K]

Luftmenge			1'000[m ³ /h]	
t_a	t_R	Q		Spez. Q
[°C]	[°C]	[W]		[W/((m ³ /h)·K)]
-10	15	8'874		0.35496
-5	15	6'968		0.34840
5	15	3'361		0.33610
10	15	1'652		0.33040
				0.34247
$t_a \leq t_R$				
5.8	15	3'083		0.33511
82.4% r.F.				
t_a	t_R	Q		Spez. Q
[°C]	[°C]	[W]		[W/((m ³ /h)·K)]
-10	20	10'649		0.35497
-5	20	8'711		0.34844
5	20	5'042		0.33613
10	20	3'304		0.33040
				0.34249
$t_a \leq t_R$				
7.8	20	4'061		0.33287
80.4% r.F.				

Für die Stunden, bei welcher die Aussenlufttemperatur kleiner als 15°C ist beträgt die mittlere Temperatur 5.8°C und die Feuchte 82.4%r.F., für die Stunden, bei welcher die Aussenlufttemperatur kleiner als 20°C ist sind die Werte 7.8°C und 80.4%r.F.

Grundlage für die Temperatur-, die Mittelwert- und die Energieberechnungen bilden die meteorologischen Stundenwerte eines Modelljahres von Luzern. Diese Stundenwerte sind der Software Meteororm entnommen [S3].

Bei diesen mittleren Temperaturen wurde die Leistung ermittelt und danach der spezifische Leistungsbedarf.

Für eine Raumtemperatur von 15°C beträgt er 0.33511 W/((m3/h) K) für eine Raumtemperatur von 20°C 0.33287 W/((m3/h) K).

Für jede Stunde im Modelljahr kann nun die Leistung ermittelt werden und die Aufsummierung dieser Leistung ergibt den Jahresenergiebedarf, welcher benötigt wird, um die Luft von der jeweiligen Aussenlufttemperatur auf die Raumlufthtemperatur zu erwärmen.

Der Energiebedarf, um 1'000 m3/h Aussenluft von Aussentemperatur auf die Raumtemperatur von 15°C respektive auf 20°C zu erwärmen, beträgt pro Jahr:

Raumlufth- Temperatur [°C]	Jahresenergiebe- darf bei t_R [kWh/(1000m ³ /h)]
15	20'092
20	32'162

(gilt für den Standort Luzern)

7. Detaillierte Messresultate und Berechnungen

Nachfolgend sind ausgewählte Messungen und Berechnungen als Beispiele eingefügt.

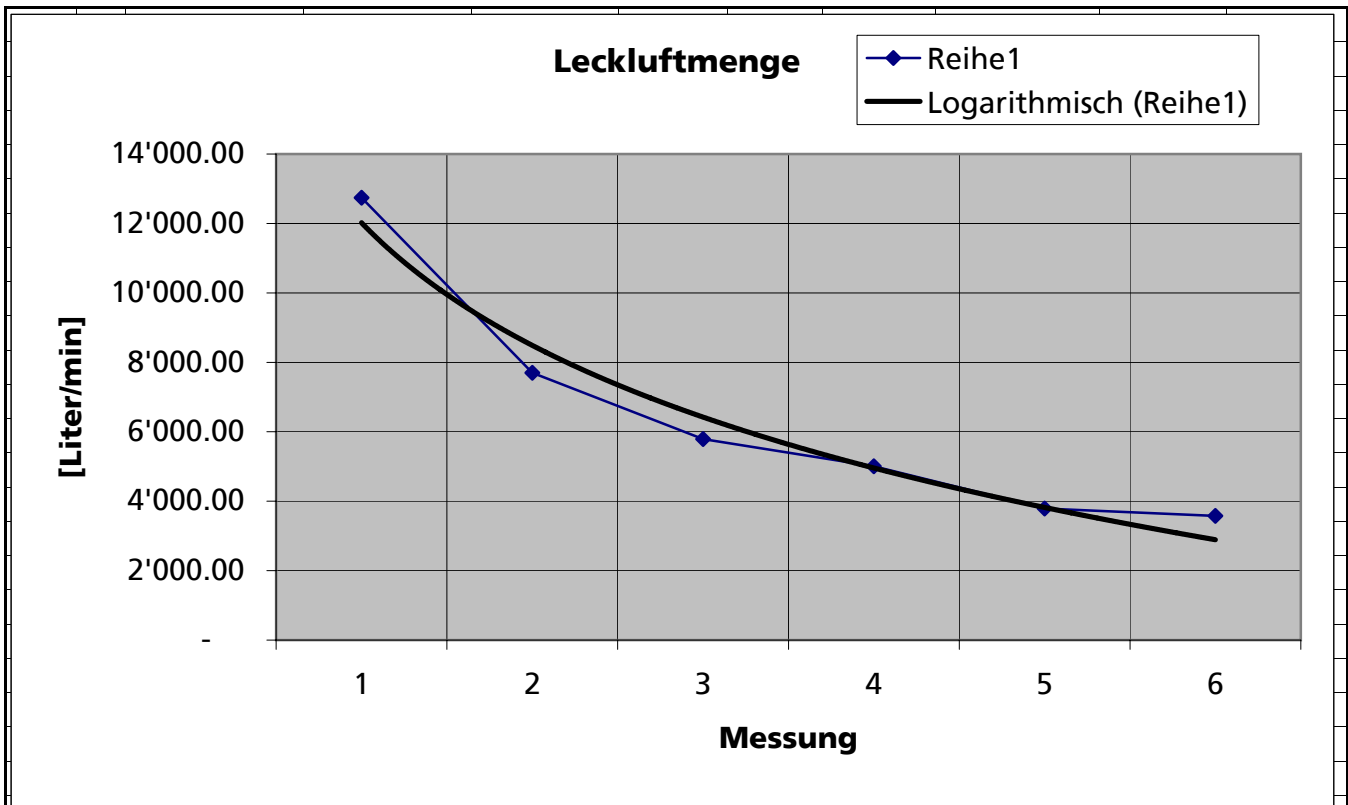
7.1 Vereinfachte Ermittlung der Leckluft mittels Behältermethode

Messung des Druckverlaufes und Ermittlung der Leckverluste mit der Behältermethode gemäss [7, Seite 165]

Nachfolgend ist eine Berechnung als Beispiel eingefügt.

Vereinfachte Ermittlung der Leckluft mittels Behältermethode						Quelle: [1], Seite 165	
Entladen Netz, ganzes Netz						Nr.	2
							19.07.2003
$V_L = \frac{V_B \cdot (p_A - p_E)}{t}$							
V_L	=	Leckagemenge		[Liter/min]	Voraussetzung:		
V_B	=	Volumen Druckbehälter und Leitungen		[Liter]	Sämtliche Verbraucher		
p_A	=	Druckbehälter Anfangsdruck		[barü]	sind abgestellt.		
p_E	=	Druckbehälter Enddruck		[barü]			
t	=	Messzeit		[min]			
Druckluftspeicher							
Zentrale				11'350	Liter	7'100	
Total Druckluftspeicher				11'350	Liter		
				11.35	m3		
Druckluftnetz (gemäss Zusammenstellung)						0.32895	m3
Total Volumen Druckbehälter und Leitungen						11.68	m3
V_B	=	Volumen Druckbehälter und Leitungen		11'678.949997	Liter		
1. Messung							
		Druck		Zeit			
p_A	=	7.50		13:24:00			
p_E	=	6.50		13:24:55	std	min	sec
t	=	0.000636574		00:00:55	0	0	55
					0	0	0.91666667
						0.91667	
V_L	=	12'740.67	[Liter/min]				
2. Messung							
		Druck		Zeit			
p_A	=	6.50		13:24:55			
p_E	=	5.50		13:26:26	std	min	sec
t	=	0.001053241		00:01:31	0	1	31
					0	1	0.51666667
						1.51667	
V_L	=	7'700.41	[Liter/min]				
1.+2. Messung							
		Druck		Zeit			
p_A	=	7.50		13:24:00			
p_E	=	5.50		13:26:26	std	min	sec
t	=	0.001689815		00:02:26	0	2	26
					0	2	0.43333333
						2.43333	
V_L	=	9'599.14	[Liter/min]				

3. Messung																			
		Druck		Zeit															
p_A	=	5.50		13:26:26															
p_E	=	4.50		13:28:27		std	min	sec											
t	=	0.001400463		00:02:01		0	2	1											
						0	2	0.01666667											
							2.01667												
V_L	=	5'791.21	[Liter/min]																
4. Messung																			
		Druck		Zeit															
p_A	=	4.50		13:28:27															
p_E	=	3.50		13:30:47		std	min	sec											
t	=	0.00162037		00:02:20		0	2	20											
						0	2	0.33333333											
							2.33333												
V_L	=	5'005.26	[Liter/min]																
5. Messung																			
		Druck		Zeit															
p_A	=	3.50		13:30:47															
p_E	=	2.50		13:33:52		std	min	sec											
t	=	0.002141204		00:03:05		0	3	5											
						0	3	0.08333333											
							3.08333												
V_L	=	3'787.77	[Liter/min]																
6. Messung																			
		Druck		Zeit															
p_A	=	2.50		13:33:52															
p_E	=	1.50		13:37:08		std	min	sec											
t	=	0.002268519		00:03:16		0	3	16											
						0	3	0.26666667											
							3.26667												
V_L	=	3'575.19	[Liter/min]																



Auflistung Messung 1 bis 13										
					nur Min. [m]	nur Sek. [s]	Sek. gesamt [s]	Sek. Dauer [s]	285	
			[ss]							
		Druck	Zeit							
p _A	=	7.50	13:24:00	00:00:00	0	0	0	0	285	
p _A	=	7.00	13:24:20	00:00:20	0	20	20	20	305	
p _A	=	6.50	13:24:55	00:00:35	0	35	35	55	340	
p _A	=	6.00	13:25:48	00:00:53	0	53	53	108	393	
p _A	=	5.50	13:26:26	00:00:38	0	38	38	146	431	
p _A	=	5.00	13:27:19	00:00:53	0	53	53	199	484	
p _A	=	4.50	13:28:27	00:01:08	1	8	68	267	552	
p _A	=	4.00	13:29:38	00:01:11	1	11	71	338	623	
p _A	=	3.50	13:30:47	00:01:09	1	9	69	407	692	
p _A	=	3.00	13:32:22	00:01:35	1	35	95	502	787	
p _A	=	2.50	13:33:52	00:01:30	1	30	90	592	877	
p _A	=	2.00	13:35:10	00:01:18	1	18	78	670	955	
p _A	=	1.50	13:37:08	00:01:58	1	58	118	788	1073	
			00:13:08		13	8	788		788	
[1]		Bahr, Michael: Taschenbuch Drucklufttechnik; Michael Bahr / Erwin Ruppelt; Vulkan Verlag, Essen; 2000; ISBN 3-8027-2188-9								

7.2 Vereinfachte Ermittlung der Liefermenge mittels Behältermethode

Messung des Druckverlaufes und Ermittlung der Liefermenge mit der Behältermethode gemäss [11, Seite 38] und [8, Seite 12/26].

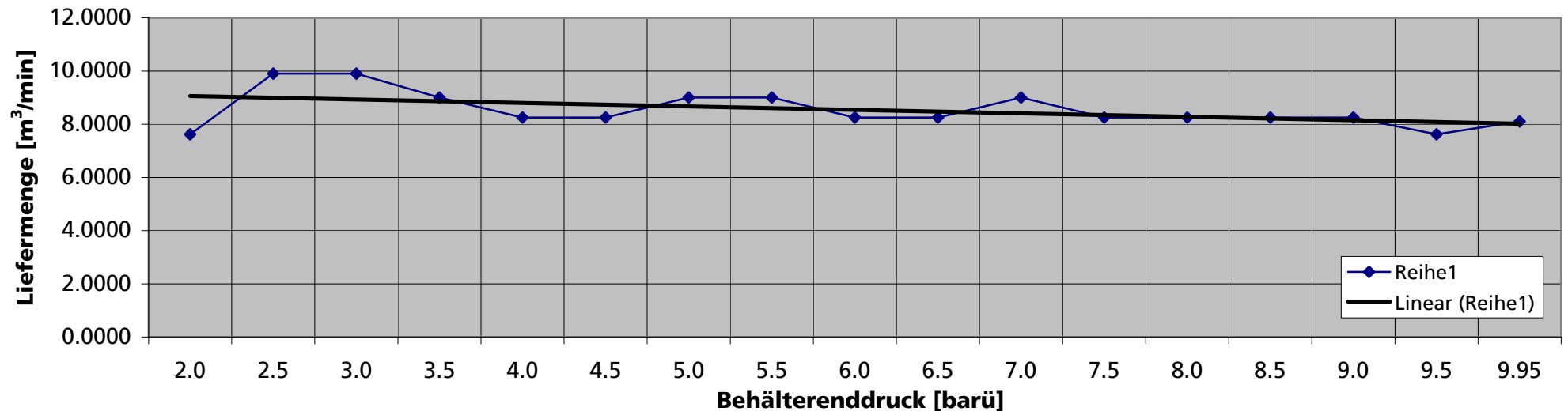
Die Werte wurden in Excel-Arbeitsblättern ausgewertet und dargestellt. Eine Darstellung des Druckverlaufes über die Zeit ist auch enthalten. (Diese Darstellungsform in einem Excel-Diagramm ist jedoch nicht ideal, da die zeitliche Darstellung abhängig ist von den Anzahl Zellen und nicht von der effektiven Zeitdauer.)

Nachfolgend ist eine Berechnung als Beispiel eingefügt.

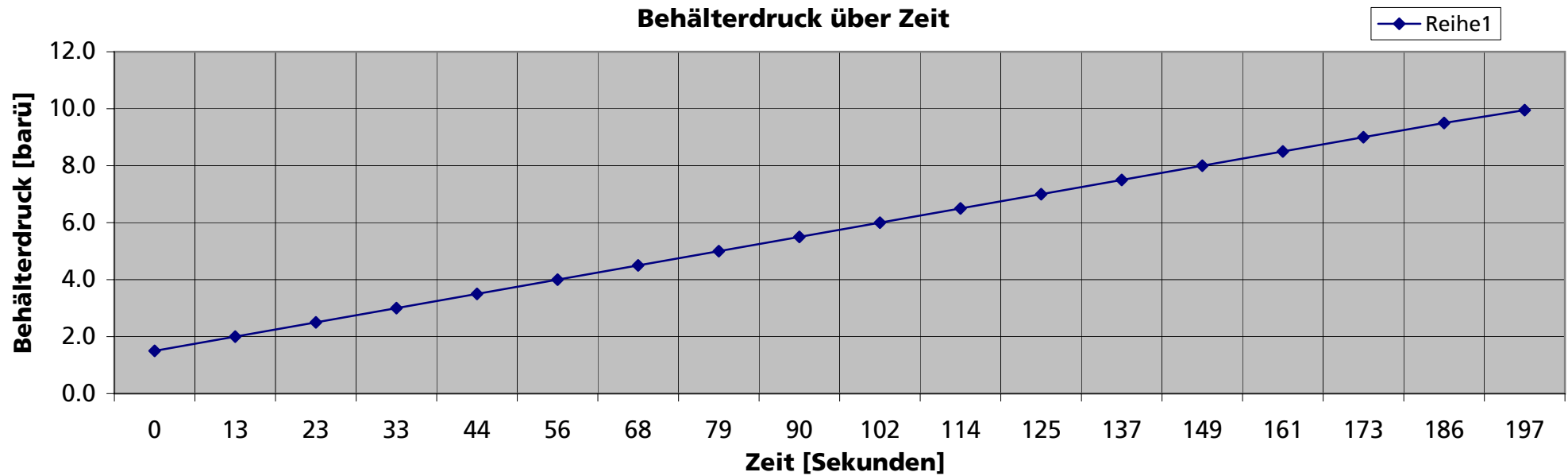
Vereinfachte Ermittlung der Liefermenge mittels Behälterfüllmethode									
Aufladen Behälter und Leitungen in Zentrale								Messung Nr.	3
									19.07.2003
$Q = \frac{V \cdot 3600 \cdot T_a}{t \cdot P_a} \cdot \left(\frac{P_{e2}}{T_{e2}} - \frac{P_{e1}}{T_{e1}} \right)$				$Q = \frac{V \cdot (p_2 - p_1)}{(t_2 - t_1)}$					
Q	=	mittlere Liefermenge auf dem Niveau der gemessenen Druckdifferenz	[m3/h]	Q	=	mittlere Liefermenge auf dem Niveau der gemessenen Druckdifferenz	[Liter/s]		
V	=	Behältergrösse (Summe der Behältergrössen bei mehreren Behältern)	[m3]	V	=	Speichervolumen (Summe der Behälter und Leitungen)	[Liter/bar]		
T _a	=	Absolute Lufttemperatur am Ansaugstutzen	[°K]	p ₁	=	Behälterdruck bei Messbeginn	[barü]		
t	=	Auffüllzeit für die gewählte Druckdifferenz	[sec]	p ₂	=	Behälterdruck bei Messende	[barü]		
P _a	=	Absoluter Ansaugdruck am Ansaugstutzen	[bar]	p ₂ -p ₁	=	Druckdifferenz für Druckerhöhung (z.B. 1bar)	[bar]		
p _{e1}	=	Absoluter Behälterdruck bei Messbeginn	[bar]	t ₁	=	Zeit bei Messbeginn			
T _{e1}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messbeginn	[°K]	t ₂	=	Zeit bei Messende			
p _{e2}	=	Absoluter Behälterdruck bei Messende	[bar]	t ₂ -t ₁	=	Fülldauer	[Sekunden]		
T _{e2}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messende	[°K]						
Quelle: [1], Seite 38				Quelle: [2], Seite 12/26					
Druckluftspeicher									
Zentrale			3'000	Liter	<u>Voraussetzung:</u>				
Total Druckluftspeicher			3'000	Liter	Sämtliche Verbraucher				
			3	m3	sind abgestellt respektive				
					der Zugang zum Netz abgesperrt.				
Druckluftnetz (gemäss Zusammenstellung)			0.328950	m3					
Total Volumen Druckbehälter und Leitungen			3.328950	m3					
V _B	=	Volumen Druckbehälter und Leitungen	3'328.950	Liter					

Messwerte Temperatur und Barometerdruck																		
t _a	=	Lufttemperatur am Ansaugstutzen																
									30	°C								
									303.15	K								
φ _a	=	Luftfeuchte relativ am Ansaugstutzen																
									40	% r.F.								
P _a	=	Absoluter Ansaugdruck am Ansaugstutzen																
									1'005	hPa								
									1.005	bar								
t _{e1}	=	Behältertemperatur bei Messbeginn																
									31	°C								
T _{e1}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messbeginn																
									304.15	K								
t _{e2}	=	Behältertemperatur bei Messende																
									31	°C								
T _{e2}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messende																
									304.15	K								
									$Q = \frac{V \cdot 3600 \cdot T_a}{t \cdot P_a} \cdot \left(\frac{P_{e2}}{T_{e2}} - \frac{P_{e1}}{T_{e1}} \right)$		$Q = \frac{V \cdot (p_2 - p_1)}{(t_2 - t_1)}$							
Druckmessungen																		
		Druck	Uhrzeit	Zeitdauer				Absolut-	Liefer-				Liefer-		Leistung	Kennzahl		
		[barü]	[hh:mm:ss]	[mm:ss]	[s]	[s]	[ss]	[s]	druck	menge			menge					
									[bar]	[m3/h]	[m3/min]	[m3/h]	[m3/min]	[Liter/s]	[m3/min]	[kW]	[kW/(m ³ /min)]	
1		1.5	13:40:30	00:00:00	0	0	00:00:00	0	2.505							54		
2		2.0	13:40:43	00:00:13	13	13			3.005	457.13	7.6188			128.0365	7.6822	57	7.48	
3		2.5	13:40:53	00:00:10	10	23	00:00:23	23	3.505	594.27	9.9045	516.76	8.6126	166.4475	9.9868	58	5.86	
4		3.0	13:41:03	00:00:10	10	33			4.005	594.27	9.9045			166.4475	9.9868	59	5.96	
5		3.5	13:41:14	00:00:11	11	44	00:00:21	21	4.505	540.25	9.0041	565.97	9.4328	151.3159	9.0790	60	6.66	
6		4.0	13:41:26	00:00:12	12	56			5.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	61	7.39	
7		4.5	13:41:38	00:00:12	12	68	00:00:24	24	5.505	495.22	8.2537	495.22	8.2537	138.7062	8.3224	62	7.51	
8		5.0	13:41:49	00:00:11	11	79			6.005	540.25	9.0041			151.3159	9.0790	64	7.11	
9		5.5	13:42:00	00:00:11	11	90	00:00:22	22	6.505	540.25	9.0041	540.25	9.0041	151.3159	9.0790	65	7.22	
10		6.0	13:42:12	00:00:12	12	102			7.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	67	8.12	
11		6.5	13:42:24	00:00:12	12	114	00:00:24	24	7.505	495.22	8.2537	495.22	8.2537	138.7062	8.3224	69	8.36	
12		7.0	13:42:35	00:00:11	11	125			8.005	540.25	9.0041			151.3159	9.0790	70	7.77	
13		7.5	13:42:47	00:00:12	12	137	00:00:23	23	8.505	495.22	8.2537	516.76	8.6126	138.7062	8.3224	72	8.72	
14		8.0	13:42:59	00:00:12	12	149			9.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	74	8.97	
15		8.5	13:43:11	00:00:12	12	161	00:00:24	24	9.505	495.22	8.2537	495.22	8.2537	138.7062	8.3224	76	9.21	
16		9.0	13:43:23	00:00:12	12	173			10.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	78	9.45	
17		9.5	13:43:36	00:00:13	13	186	00:00:25	25	10.505	457.13	7.6188	475.42	7.9236	128.0365	7.6822	80	10.50	
18		9.95	13:43:47	00:00:11	11	197	00:00:11	11	10.955	486.22	8.1037			136.1843	8.1711	57		
19																		
20		00:03:17	3	17	197	197		197									9.09	

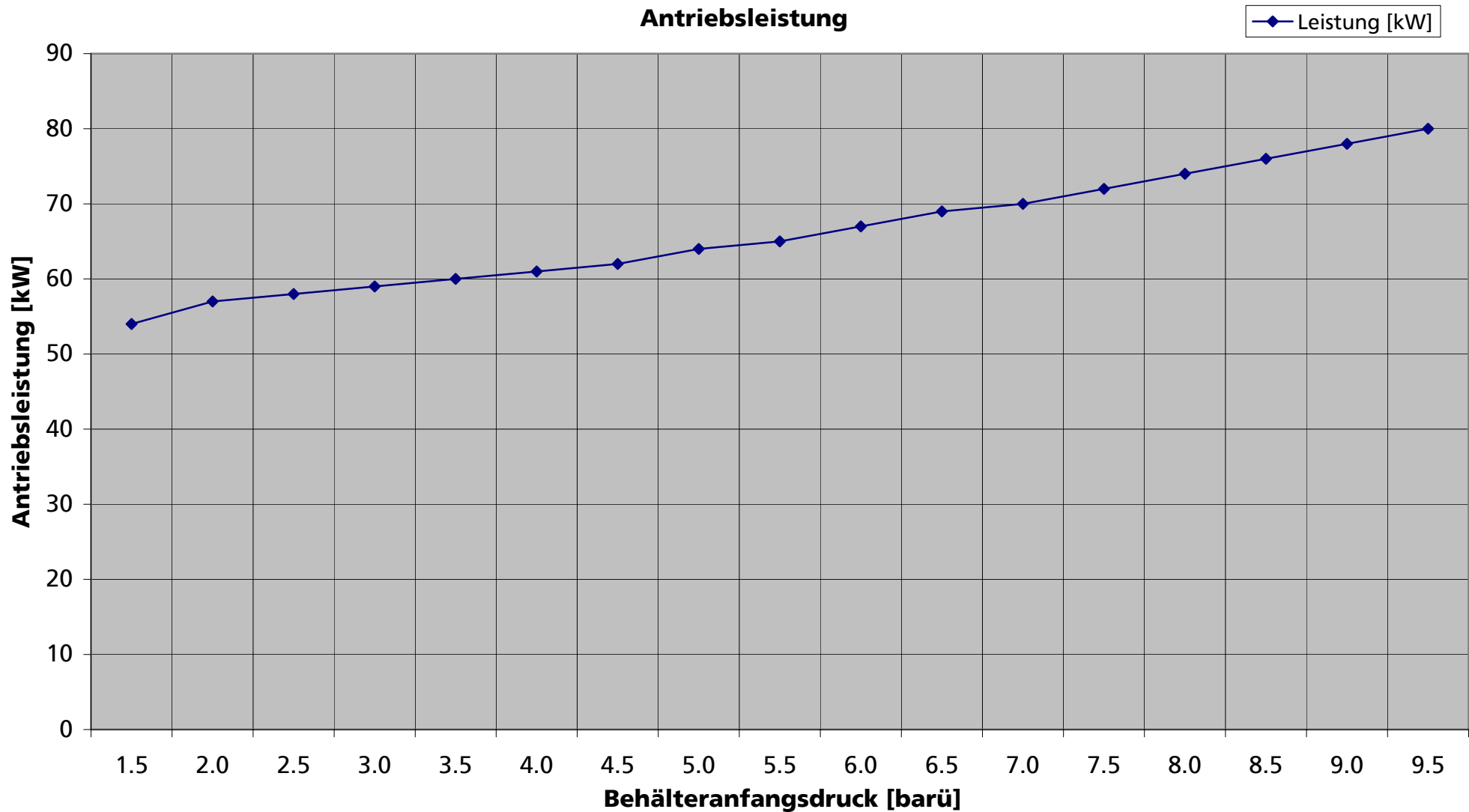
Liefermenge Kompressor 1



Behälterdruck über Zeit



Antriebsleistung



7.3 Ermittlung der Liefer- und Leckverlustmengen mit der Gradientenmethode

Diese Methode wird heute bei den meisten Druckluftleitsystemen angewandt. Mit einem Druckfühler wird der Druckverlauf erfasst. Je nach Steilheit des Verlaufes kann der Druckgradient und damit der Verbrauch, die Liefermenge respektive die Differenz Liefermenge / Verbrauch ermittelt werden. Messungen in der Praxis mit in der Leitung eingebauten Durchflussmessgeräten bestätigen die Genauigkeit der Methode.

Grundlage des nachfolgend eingefügten Berechnungsganges waren die Handmessungen von Druck, Zeit und Temperatur.

Die ermittelten Werte decken sich in etwa mit den Werte der Behältermethode. Auf eine Fehlerrechnung wurde in allen Fällen verzichtet, da es sich im vorliegenden Projekt nicht um eine wissenschaftliche Arbeit, sondern um eine Abschätzung der Mengen handelt.

Die Rechenmethode ist [13, Seite 20, A3.4 und A3.5] entnommen. Die Berechnung wurde mit MathCAD [S2] durchgeführt.

Nachfolgend ist eine Berechnung als Beispiel eingefügt.

Ermittlung des Systeminhaltes und der Leckluftmenge mit der Druckgradientenmethode (Laden-Entladen) Messung Nr. 1 und 2

Einheiten-Umrechnungen, Grundlagen

Wh := 3600J	MW := 10 ⁶ W	to := 1000kg	hPa := 100Pa	Rp := 0.01	MWST := 7.6%
kWh := 10 ³ Wh	kJ := 10 ³ J	MPa := Pa · 10 ⁶	Fr := 100Rp	°C := K	
MWh := 10 ⁶ Wh	MJ := 10 ⁶ J	bar := 10 ⁵ Pa	kFr := 10 ³ Fr	Tt(t) := t + 273.15K	
GWh := 10 ⁹ Wh	GJ := 10 ⁹ J	mbar := 10 ⁻³ bar	MFr := 10 ⁶ Fr	tT(T) := T - 273.15K	

Im Formelbereich werden g (Gramm als 1/1000 kg) mit gm abgekürzt.

Felder welche **gelb** sind, sind Eingabewerte.

Felder welche **grün** sind, sind Schlussresultate des jeweiligen Kapitels.

Allgemeine, physikalische Grundlagen

- R_L = spezielle oder individuelle Gaskonstante für trockene Luft [J/(kg·K)] gemäss
Berechnung aus Zusammensetzung der Luft, Raumanteil und molarer Masse [6]
 R_D = spezielle oder individuelle Gaskonstante für Wasserdampf [J/(kg·K)] [6]

$$R_L := 287.08 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad R_D := 461.53 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \frac{R_L}{R_D} = 0.62202$$

Normzustände für trockene Luft (gemäss DIN 1343)

- t_n = Normtemperatur [°C]
 T_n = Normtemperatur [K]
 p_n = Normdruck [Pa]
 ϕ_n = Normfeuchte relativ [%r.F.]
 ρ_n = Normdichte trockene Luft [kg/m³]; [7], Seite 56

$$t_n := 0^\circ\text{C} \quad p_n := 1.01325\text{bar} \quad \phi_n := 0\% \quad \rho_n := 1.2928 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$T_n := t_n + 273.15\text{K} \quad T_n = 273.15\text{K}$$

Volumen Druckluftsystem (Behälter und -Leitungen)

Der Druckluftbehälter hat ein gegebenes Volumen. Das Leitungsnetz zwischen Kompressor und Behälter wurde aufgenommen und dessen Inhalt ermittelt. Das übrige Netz ist sehr verzweigt. Der Inhalt des Netzes wird mittels den Gasgleichungen errechnet (siehe weiter unten). Die Summe aller Volumen ergibt V_S .

$$V_S = \text{Volumen Druckluftsystem (Behälter und Leitungen in Zentrale) [m}^3\text{]}$$

Messwerte Ansaugzustand

- t_A = Lufttemperatur Ansaugstelle [°C]
- T_A = Lufttemperatur Ansaugstelle [K]
- p_{amb} = Barometer-, Umgebungs-, Atmosphärendruck [hPa]
- ϕ_A = relative Luftfeuchte Ansaugstelle [%r.F.]
- t_B = Lufttemperatur Druckluftbehälter (Betriebszustand) [°C]
- T_B = Lufttemperatur Druckluftbehälter (Betriebszustand) [K]

$$t_A := 30^\circ\text{C}$$

$$p_{amb} := 1005\text{hPa}$$

$$\phi_A := 40\%$$

$$T_A := Tt(t_A)$$

$$p_{amb} = 1.005\text{ bar}$$

$$T_A = 303.15\text{ K}$$

Vorgabewert Betriebsüberdruck

- $p_{B\ddot{u}a}$ = Betriebsüberdruck (im Netz respektive im Druckkessel in der Zentrale) [barü]
- p_{amb} = Barometer-, Umgebungs-, Atmosphärendruck [bar]
- p_B = Betriebsdruck absolut [bar]

$$p_{B\ddot{u}a} := p_{B\ddot{u}}$$

$$p_{B\ddot{u}a} = 6.8\text{ bar}$$

$$p_B := p_{B\ddot{u}a} + p_{amb}$$

$$p_B = 7.805\text{ bar}$$

Ermittlung Sättigungsdruck Wasserdampf bei Ansaugzustand

Der Wasserdampf - Sättigungsdruck kann aus Dampfdruck-Tafeln herausgelesen werden. Für eine Berechnung bieten sich auch Approximationsgleichungen an, welche nachfolgend verwendet werden. Die folgende Gleichung ist [4, Seite 100, Kap. 134-2] entnommen.

- t_A = Lufttemperatur Ansaugstelle [°C]
 p_{SA} = Wasserdampfsättigungsdruck bei Temperatur t_A in [Pa]

$$t_A = 30 \text{ °C}$$

$$p_{SA} := 611 \cdot e^{\left(7.257 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{t_A}{\text{°C}} - 2.937 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{t_A^2}{\text{°C}^2} + 9.810 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{t_A^3}{\text{°C}^3} - 1.901 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{t_A^4}{\text{°C}^4}\right)} \text{ Pa}$$

Geltungsbereich: $0.01 \text{ °C} < t < 100 \text{ °C}$
Maximaler Fehler: 0.02%, 11 Pa

$$p_{SA} = 4.2421 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{SA} = 42.42102 \text{ mbar}$$

Ermittlung absoluter Feuchtegehalt Luft bei Ansaugzustand

- x_A = absoluter Feuchtegehalt Ansaugluft [g/kg]
 R_L = spezielle oder individuelle Gaskonstante für trockene Luft [J/(kg·K)]
 R_D = spezielle oder individuelle Gaskonstante für Wasserdampf [J/(kg·K)]
 ϕ_A = relative Luftfeuchte Ansaugluft [%r.F.]
 p_{SA} = Wasserdampfsättigungsdruck bei Temperatur t_A in [Pa]
 p_{amb} = Barometer-, Umgebungs-, Atmosphärendruck [Pa]

$$x_A := \frac{R_L}{R_D} \cdot \frac{\phi_A \cdot p_{SA}}{(p_{amb} - \phi_A \cdot p_{SA})} \quad x_A = 10.68251 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

Gaskonstante für feuchte Luft bei Ansaugzustand

- R_{fLA} = spezielle oder individuelle Gaskonstante für feuchte Luft (Ansaugzustand) [J/(kg·K)]
 R_L = spezielle oder individuelle Gaskonstante für trockene Luft [J/(kg·K)] [6]
 R_D = spezielle oder individuelle Gaskonstante für Wasserdampf [J/(kg·K)] [6]
 p_{SA} = Wasserdampfsättigungsdruck bei Temperatur t_A in [Pa]
 p_{amb} = Barometer-, Umgebungs-, Atmosphärendruck [Pa]
 ϕ_A = relative Luftfeuchte Ansaugstelle relativ [%r.F.]

$$R_{fLA} := R_L \cdot \frac{1}{1 - \frac{\phi_A \cdot p_{SA}}{p_{amb}} \cdot \left(1 - \frac{R_L}{R_D}\right)} \quad [5], \text{ Seite 32, Formel 38}$$

$$R_{fLA} = 288.92387 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Messwerte Betriebszustand

t_K	=	Lufttemperatur nach Kompressor [°C]
T_K	=	Lufttemperatur nach Kompressor [K]
t_T	=	Lufttemperatur im Druckluft-Trockner [°C]
T_T	=	Lufttemperatur im Druckluft-Trockner [K]
t_B	=	Lufttemperatur nach dem Druckluft-Trockner (Betriebszustand, im Behälter) [°C]
T_B	=	Lufttemperatur nach dem Druckluft-Trockner (Betriebszustand, im Behälter) [K]

Bemerkung: nur t_B ist gemessen, die übrigen Werte sind auf Grund der Produkteunterlagen (Kompressor und Kältetrockner) abgeschätzt.

$$t_K := t_A + 15^\circ\text{C}$$

$$t_K = 45^\circ\text{C}$$

$$t_T := 3^\circ\text{C}$$

$$t_B := 31^\circ\text{C}$$

$$T_K := T(t_K)$$

$$T_T := T(t_T)$$

$$T_B := T(t_B)$$

$$T_K = 318.15 \text{ K}$$

$$T_T = 276.15 \text{ K}$$

$$T_B = 304.15 \text{ K}$$

Ermittlung Sättigungsdruck Wasserdampf bei Betriebszustand

Gleiche Berechnung, Geltungsbereich und Fehler wie Ermittlung Sättigungsdruck Wasserdampf Ansaugzustand.

t_K	=	Lufttemperatur nach Kompressor [°C]
p_{SK}	=	Wasserdampfsättigungsdruck bei Temperatur t_K in [Pa]

$$t_K = 45^\circ\text{C}$$

$$p_{SK} := 611 \cdot e^{\left(7.257 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{t_K}{^\circ\text{C}} - 2.937 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{t_K^2}{^\circ\text{C}^2} + 9.810 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{t_K^3}{^\circ\text{C}^3} - 1.901 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{t_K^4}{^\circ\text{C}^4}\right)} \text{ Pa}$$

$$p_{SK} = 9.58163 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{SK} = 95.81628 \text{ mbar}$$

t_T	=	Lufttemperatur im Druckluft-Trockner [°C]
p_{ST}	=	Wasserdampfsättigungsdruck bei Temperatur t_T in [Pa]

$$t_T = 3^\circ\text{C}$$

$$p_{ST} := 611 \cdot e^{\left(7.257 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{t_T}{^\circ\text{C}} - 2.937 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{t_T^2}{^\circ\text{C}^2} + 9.810 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{t_T^3}{^\circ\text{C}^3} - 1.901 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{t_T^4}{^\circ\text{C}^4}\right)} \text{ Pa}$$

$$p_{ST} = 757.6261 \text{ Pa}$$

$$p_{ST} = 7.57626 \text{ mbar}$$

t_B = Lufttemperatur nach dem Druckluft-Trockner (Betriebszustand, im Behälter) [°C]

p_{sB} = Wasserdampf-sättigungsdruck bei Temperatur t_B in [Pa]

$$t_B = 31 \text{ °C}$$

$$p_{sB} := 611 \cdot e^{\left(7.257 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{t_B}{\text{°C}} - 2.937 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{t_B^2}{\text{°C}^2} + 9.810 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{t_B^3}{\text{°C}^3} - 1.901 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{t_B^4}{\text{°C}^4}\right)} \text{ Pa}$$

$$p_{sB} = 4.49172 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{sB} = 44.91718 \text{ mbar}$$

Ermittlung des maximalen absoluten Feuchtegehaltes der Luft nach dem Kompressor

x_{sK} = maximaler absoluter Feuchtegehalt der Luft nach dem Kompressor [g/kg]
(Luft im Sättigungszustand)

R_L = spezielle oder individuelle Gaskonstante für trockene Luft [J/(kg·K)]

R_D = spezielle oder individuelle Gaskonstante für Wasserdampf [J/(kg·K)]

p_{sK} = Wasserdampf-sättigungsdruck bei Temperatur t_K in [Pa]

p_B = Betriebsdruck absolut [bar]

$$p_{sK} = 95.81628 \text{ mbar}$$

$$\frac{R_L}{R_D} = 0.62202$$

$$x_{sK} := \frac{R_L}{R_D} \cdot \frac{p_{sK}}{(p_B - p_{sK})}$$

$$x_{sK} = 7.73097 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

Ermittlung des maximalen absoluten Feuchtegehaltes der Luft im Drucklufttrockner

x_{sT} = maximaler absoluter Feuchtegehalt der Luft im Drucklufttrockner [g/kg]

R_L = spezielle oder individuelle Gaskonstante für trockene Luft [J/(kg·K)]

R_D = spezielle oder individuelle Gaskonstante für Wasserdampf [J/(kg·K)]

p_{sT} = Wasserdampf-sättigungsdruck bei Temperatur t_T in [Pa]

p_B = Betriebsdruck absolut [bar]

$$p_{sT} = 7.57626 \text{ mbar}$$

$$\frac{R_L}{R_D} = 0.62202$$

$$x_{sT} := \frac{R_L}{R_D} \cdot \frac{p_{sT}}{(p_B - p_{sT})}$$

$$x_{sT} = 0.60438 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

Kondensation der Druckluft nach dem Kompressor

Wenn der Wert des maximale Feuchtegehaltes der Luft nach dem Kompressor unter dem Wert der Ansaugluft liegt, dann scheidet die Luft nach dem Kompressor die zu grosse Feuchtigkeit aus.

- K_K = Kondensatmenge nach dem Kompressor [g/kg]
- x_{SK} = maximaler absoluter Feuchtegehalt der Luft nach dem Kompressor (Sättigung) [g/kg]
- x_A = absoluter Feuchtegehalt Ansaugluft [g/kg]
- x_K = absoluter Feuchtegehalt der Luft nach dem Kompressor [g/kg]

$$x_A = 10.68251 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

$$x_{SK} = 7.73097 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

$$K_K := \text{wenn}[(x_{SK} - x_A) < 0, x_{SK} - x_A, 0]$$

$$K_K = -2.95154 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

$$x_K := x_A + K_K$$

$$x_K = 7.73097 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

Kondensation der Druckluft im Drucklufttrockner

Wenn der Wert des maximale Feuchtegehaltes der Luft im Drucklufttrockner (Kälte- oder Adsorbtionstrockner) unter den Wert der Luft nach dem Kompressor liegt, dann scheidet die Luft im Drucklufttrockner die zu grosse Feuchtigkeit aus.

- K_T = Kondensatmenge im Drucklufttrockner [g/kg]
- x_{ST} = maximaler absoluter Feuchtegehalt der Luft im Drucklufttrockner (Sättigung) [g/kg]
- x_K = absoluter Feuchtegehalt nach Kompressor [g/kg]
- x_T = absoluter Feuchtegehalt der Luft nach dem Drucklufttrockner [g/kg]

$$x_K = 7.73097 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

$$x_{ST} = 0.60438 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

$$K_T := \text{wenn}[(x_{ST} - x_K) < 0, x_{ST} - x_K, 0]$$

$$K_T = -7.12659 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

$$x_T := x_K + K_T$$

$$x_T = 0.60438 \frac{\text{gm}}{\text{kg}}$$

Relative Feuchtigkeit der Druckluft im Betriebszustand

- ϕ_B = relative Luftfeuchte Druckluft im Betriebszustand (im Behälter) [%r.F.]
 x_B = absoluter Feuchtegehalt der Luft im Betriebszustand (im Behälter) [g/kg]
 R_L = spezielle oder individuelle Gaskonstante für trockene Luft [J/(kg·K)]
 R_D = spezielle oder individuelle Gaskonstante für Wasserdampf [J/(kg·K)]
 p_{sB} = Wasserdampf-sättigungsdruck bei Temperatur t_b in [Pa]
 p_B = Betriebsdruck absolut [bar]

$$x_B := x_T \quad x_B = 0.60438 \frac{\text{gm}}{\text{kg}} \quad \frac{R_L}{R_D} = 0.62202$$

$$p_{sB} = 44.91718 \text{ mbar}$$

$$\phi_B := \frac{x_B}{\frac{R_L}{R_D} + x_B} \cdot \frac{p_B}{p_{sB}} \quad \phi_B = 16.87\%$$

Gaskonstante für feuchte Luft bei Betriebszustand

- R_{fLB} = spezielle oder individuelle Gaskonstante für feuchte Luft (Betriebszustand) [J/(kg·K)]
 R_L = spezielle oder individuelle Gaskonstante für trockene Luft [J/(kg·K)] [6]
 R_D = spezielle oder individuelle Gaskonstante für Wasserdampf [J/(kg·K)] [6]
 p_{sB} = Wasserdampf-sättigungsdruck bei Temperatur t_b in [Pa]
 p_{amb} = Barometer-, Umgebungs-, Atmosphärendruck [Pa]
 ϕ_B = relative Luftfeuchte Ansaugstelle relativ [%r.F.]

$$R_{fLB} := R_L \cdot \frac{1}{1 - \frac{\phi_B \cdot p_{sB}}{p_B} \cdot \left(1 - \frac{R_L}{R_D}\right)} \quad [5], \text{ Seite 32, Formel 38}$$

$$R_{fLB} = 287.18537 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

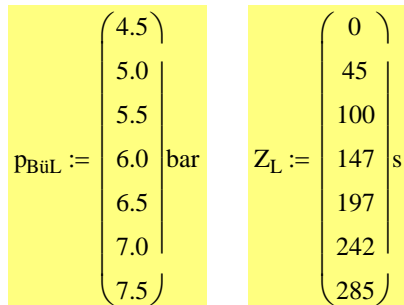
Druckverlauf Laden und Entladen des Systems

- $p_{B\ddot{u}L}$ = Betriebsüberdruck am Manometer des Behälters [barü]
 (Überdruck gegenüber Atmosphäre, beim Laden)
 Z_L = abgelaufene Zeit seit Messbeginn beim Laden [s]
 $p_{B\ddot{u}E}$ = Betriebsüberdruck am Manometer des Behälters [barü]
 (Überdruck gegenüber Atmosphäre, beim Entladen)
 Z_E = abgelaufene Zeit seit Messbeginn beim Entladen [s]

Zur Probe und Beurteilung, ob es "Ausreisser" gibt, werden die Ergebnisse in Diagrammen dargestellt.

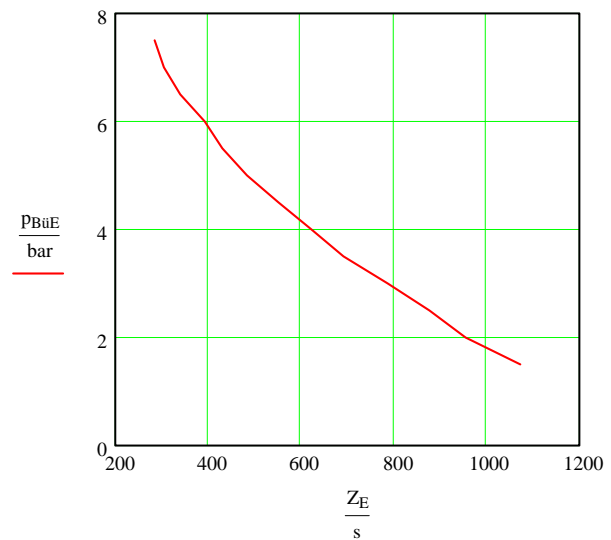
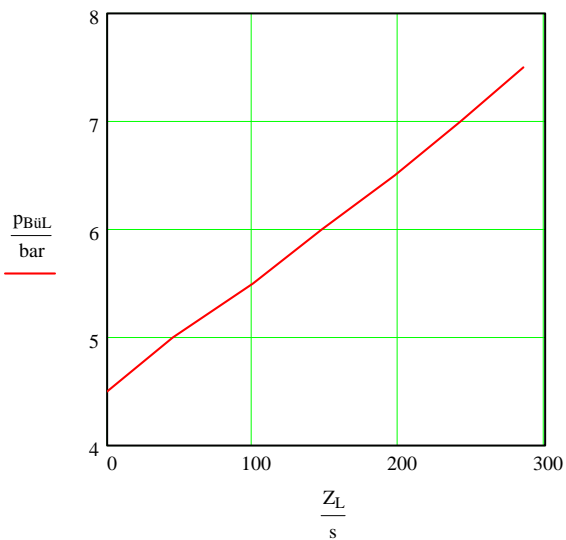
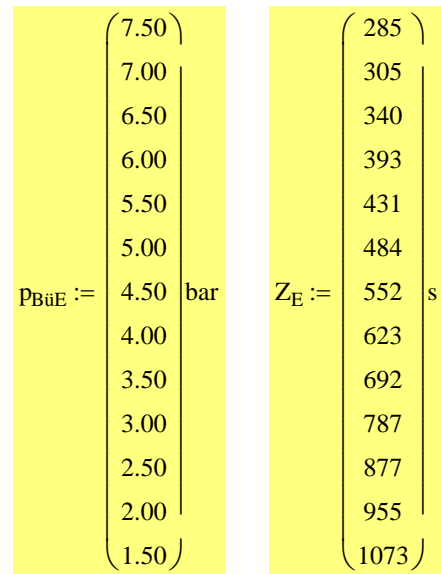
Messung Nr. 1

$Z_G := 285s$



Messung Nr. 2

$Z_O := 1073s$



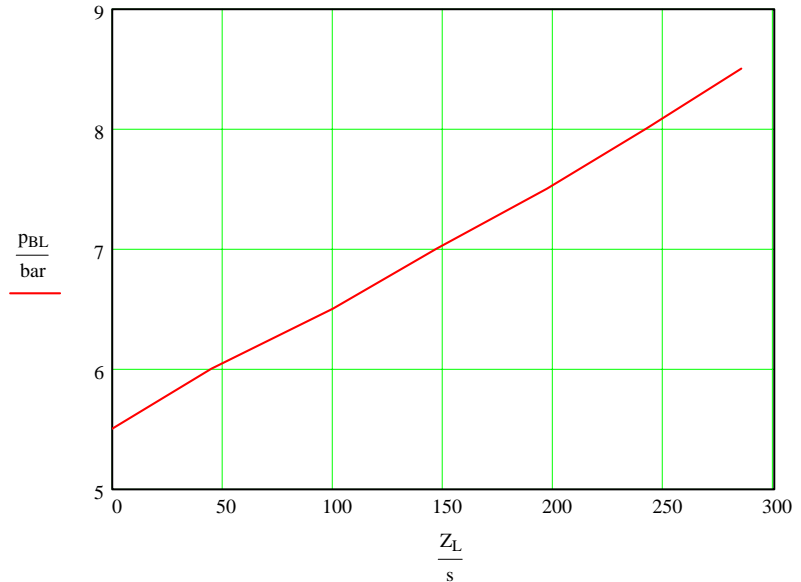
Umrechnung in absolut Drücke

$p_{BüL}$ = Betriebsüberdruck am Manometer des Behälters [barü]
(Überdruck gegenüber Atmosphäre, beim Laden)

p_{BL} = Betriebsdruck (absolut) des Behälters (beim Laden) [bar]

$$p_{BL} := p_{BüL} + p_{amb}$$

$$p_{BL} = \begin{pmatrix} 5.505 \\ 6.005 \\ 6.505 \\ 7.005 \\ 7.505 \\ 8.005 \\ 8.505 \end{pmatrix} \text{ bar}$$



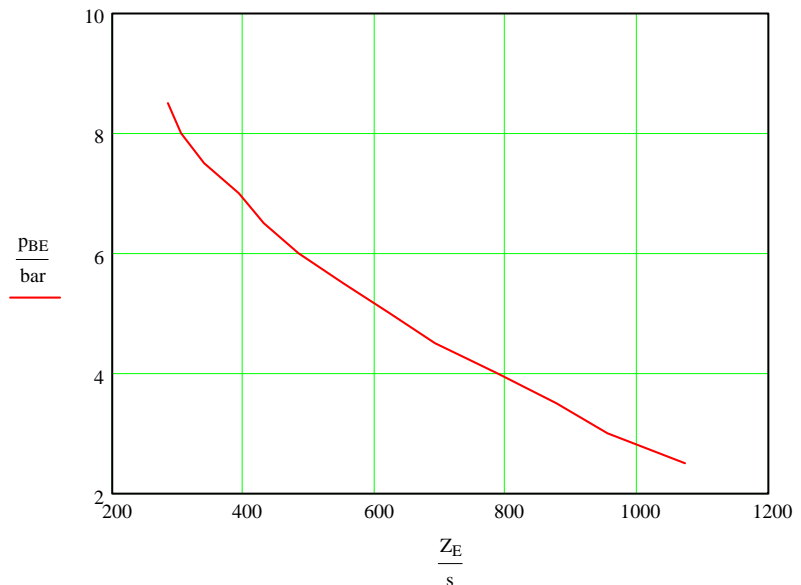
$p_{BüE}$ = Betriebsüberdruck am Manometer des Behälters [barü]
(Überdruck gegenüber Atmosphäre, beim Entladen)

p_{BE} = Betriebsdruck (absolut) des Behälters (beim Entladen) [bar]

$$p_{BE} := p_{BüE} + p_{amb}$$

	1
1	8.505
2	8.005
3	7.505
4	7.005
5	6.505
6	6.005
7	5.505
8	5.005
9	4.505
10	4.005
11	3.505
12	3.005
13	2.505

$p_{BE} =$ bar



Bildung einer Funktion für den Ladevorgang

Aus den Werten p_{BL} und Z_L wird eine Funktion gebildet, damit interpoliert werden kann. Die Funktion wird wiederum abgebildet und einzelne Werte können überprüft werden.

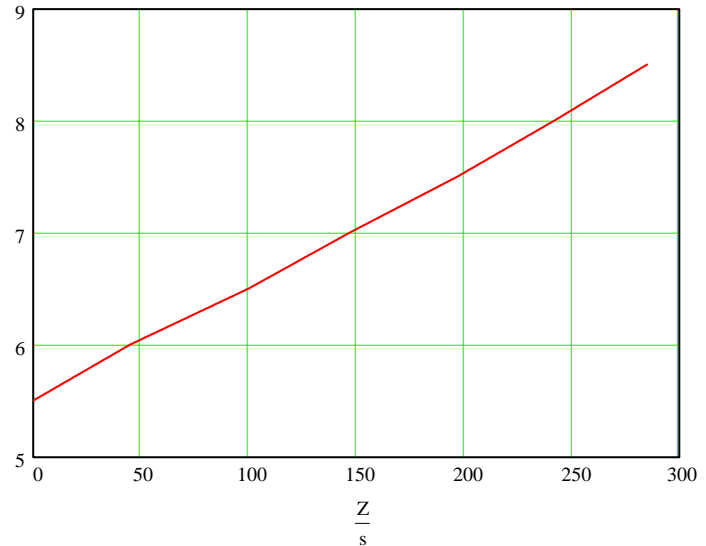
- Z = Zeit für Druckverlauf [s]
- Z_L = abgelaufene Zeit seit Messbeginn beim Laden [s]
- y_{PBL} = Funktion für Druckverlauf [bar]
- linterp = lineare interpolation für Zwischenwerte

$$y_{PBL}(Z) := \text{linterp}(Z_L, p_{BL}, Z)$$

$$Z := 0s, 1s.. Z_G$$

$$y_{PBL} \left[\begin{pmatrix} 0 \\ 137 \text{ s} \\ 197 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 5.505 \\ 6.89862 \text{ bar} \\ 7.505 \end{pmatrix}$$

$$\frac{y_{PBL}(Z)}{\text{bar}}$$



Bildung einer Funktion für den Entladevorgang

Aus den Werten p_{BE} und Z_E wird eine Funktion gebildet, damit interpoliert werden kann. Die Funktion wird wiederum abgebildet und einzelne Werte können überprüft werden.

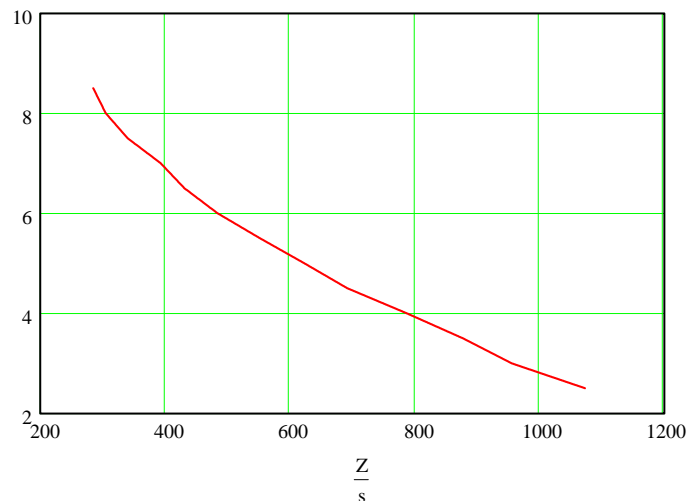
- Z = Zeit für Druckverlauf [s]
- Z_E = abgelaufene Zeit seit Messbeginn beim Entladen [s]
- p_{BE} = Betriebsdruck (absolut) des Behälters (beim Entladen) [bar]
- y_{PBE} = Funktion für Druckverlauf [bar]
- linterp = lineare interpolation für Zwischenwerte

$$y_{PBE}(Z) := \text{linterp}(Z_E, p_{BE}, Z)$$

$$Z := Z_G, Z_G + 1s.. Z_O$$

$$y_{PBE} \left[\begin{pmatrix} 285 \\ 500 \\ 1050 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 8.505 \\ 5.88735 \text{ bar} \\ 2.60246 \end{pmatrix}$$

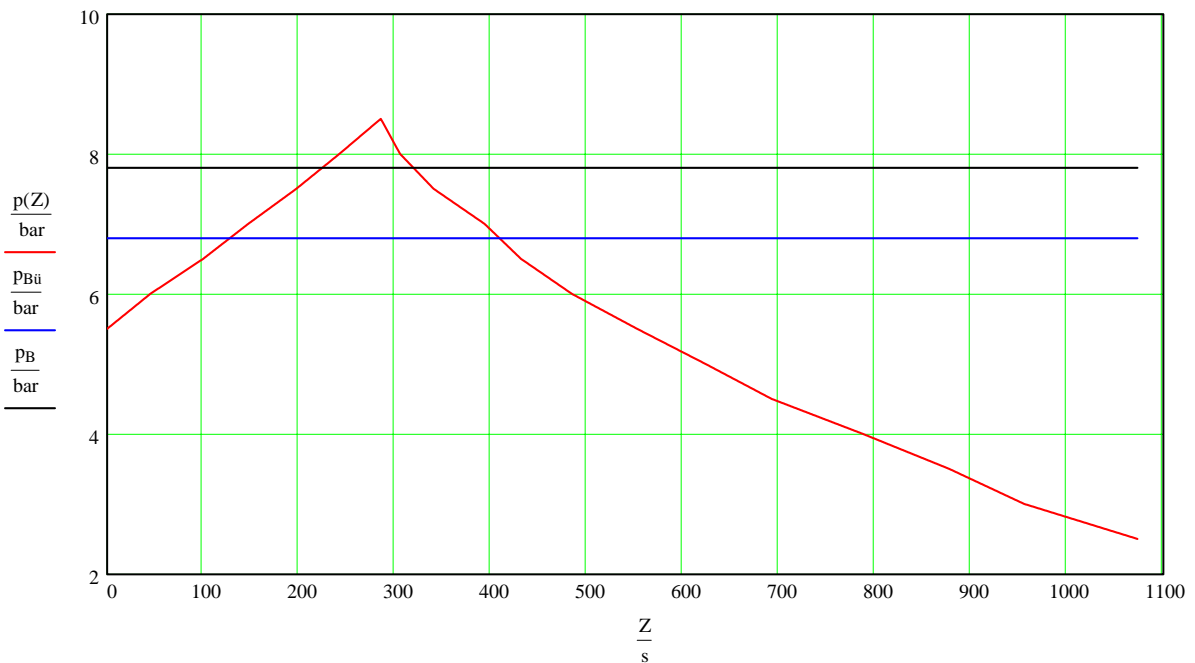
$$\frac{y_{PBE}(Z)}{\text{bar}}$$



Zusammenfassung der Lade- und Entladefunktion

Der grafische Darstellung der Lade- und der Entladefunktion lässt sich zusammenfassen.

$$p(Z) := \text{wenn}(Z \leq Z_G, y_{PBL}(Z), y_{PBE}(Z)) \quad Z := 0s, 1s..Z_0$$



Zeitpunkt des Durchlaufens des Betriebsdruckes

Es wird der Zeitpunkt ermittelt, wann der Betriebsdruck durchlaufen wird. Die Massenströme lassen sich aus der Steigung der Funktion bei Betriebsdruck oder bei anderen Drücken berechnen.

- p_B = Betriebsdruck absolut [bar]
- Z_1 = Zeitpunkt, wann Betriebsdruck beim Laden durchlaufen wird [s]
- Z_2 = Zeitpunkt, wann Betriebsdruck beim Entladen durchlaufen wird [s]
- y_{PBL} = Funktion für Druckverlauf bei Betriebsdruck (beim Laden) [bar]
- Y_{BL} = Steigung der Funktion beim Laden (wird für die Ermittlung der Liefermenge benötigt)
- y_{PBE} = Funktion für Druckverlauf bei Betriebsdruck (beim Entladen) [barü]
- Y_{BE} = Steigung der Funktion beim Entladen (wird für die Ermittlung der Liefermenge benötigt)

$$Z_1 := 100 \cdot s \quad \text{Vorgabe} \quad \frac{y_{PBL}(Z_1)}{\text{bar}} = \frac{p_B}{\text{bar}} \quad Z_1 := \text{suchen}(Z_1) \quad Z_1 = 224 \text{ s}$$

$$Y_{BL}(Z) := \frac{d}{dZ} y_{PBL}(Z) \quad Y_{BL}(Z_1) = 0.667 \frac{\text{bar}}{\text{min}}$$

$$Z_2 := 100 \cdot s \quad \text{Vorgabe} \quad \frac{y_{PBE}(Z_2)}{\text{bar}} = \frac{p_B}{\text{bar}} \quad Z_2 := \text{suchen}(Z_2) \quad Z_2 = 319 \text{ s}$$

$$Y_{BE}(Z) := \frac{d}{dZ} y_{PBE}(Z) \quad Y_{BE}(Z_2) = -0.857 \frac{\text{bar}}{\text{min}}$$

Ermittlung der Massenströme und des Systemvolumens

- m_{BK_n} = Betriebsmassenstrom (des Kompressors) bei Betriebsdruck (kg/h)
 (aus Berechnung Liefermengen Kn mit Verweis auf diese Datei)
 m_K = wie m_{BK_n}
 m_{AL} = Ansaug-Lademassenstrom bei Betriebsdruck (kg/h)
 m_{BL} = Betriebs-Lademassenstrom bei Betriebsdruck (kg/h)
 m_{LADa} = Lademassenstrom bei Betriebsdruck (in Druckluftsystem) (kg/h)
 (Fördermenge Kompressor abzüglich Leckluftmenge)
 m_{LECKa} = Leckmassenstrom bei Betriebsdruck (im Druckluftsystem) (kg/h)
 V_{Sa} = Volumen des Druckluftnetzes (inkl. Behälter) [m³]
 R_{fLB} = spezielle oder individuelle Gaskonstante für feuchte Luft (Betriebszustand) [J/(kg·K)]
 T_B = Lufttemperatur Druckluftbehälter (Betriebszustand) [K]
 Z_1 = Zeitpunkt, wann Betriebsdruck beim Laden durchlaufen wird [s]
 Z_2 = Zeitpunkt, wann Betriebsdruck beim Entladen durchlaufen wird [s]
 yp_{BL} = Funktion für Druckverlauf bei Betriebsdruck (beim Laden) [bar]
 Y_{BL} = Steigung der Funktion beim Laden bei Betriebsdruck
 yp_{BE} = Funktion für Druckverlauf bei Betriebsdruck (beim Entladen) [barü]
 Y_{BE} = Steigung der Funktion beim Entladen bei Betriebsdruck

$$m_{Ka} := m_{BK1} + m_{BK2} \quad m_{Ka} = 1247.31 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$m_{LECKa}(Z_2) = \frac{Y_{BE}(Z_2) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B} \quad \text{einerseits :} \quad m_{LADa}(Z_1) = m_{Ka} + m_{LECKa}(Z_2) \quad (\text{Leckmenge negativ!})$$

$$\text{andererseits :} \quad m_{LADa}(Z_1) = \frac{Y_{BL}(Z_1) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B}$$

Das Volumen des Systems:

$$V_{Sa} := 10\text{m}^3 \text{ Vorgabe} \quad m_{Ka} + \frac{Y_{BE}(Z_2) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B} = \frac{Y_{BL}(Z_1) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B} \quad V_{Sa} := \text{suchen}(V_{Sa}) \quad V_{Sa} = 11.916 \text{m}^3$$

Leckmenge bei Betriebsdruck:

$$m_{LECKa}(Z_2) := \frac{Y_{BE}(Z_2) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B} \quad m_{LECKa}(Z_2) = -701.6 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Lademenge bei Betriebsdruck:

$$m_{LADa}(Z_1) := \frac{Y_{BL}(Z_1) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B} \quad m_{LADa}(Z_1) = 545.7 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$m_{AL}(Z_1) := \frac{Y_{BL}(Z_1) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B} - \frac{Y_{BL}(Z_1) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B} \cdot K_K - \frac{Y_{BL}(Z_1) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B} \cdot K_T \quad m_{AL}(Z_1) = 551.2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$m_{BL}(Z_1) := \frac{Y_{BL}(Z_1) \cdot V_{Sa}}{R_{fLB} \cdot T_B} \quad m_{BL}(Z_1) = 545.7 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Leckverlust bezogen auf das Fördervolumen des Kompressors:

$$\text{Verl}_{\text{Lecka}} := \frac{-m_{\text{LECKa}}(Z_2)}{m_{\text{Ka}}}$$

$$\text{Verl}_{\text{Lecka}} = 56.25\%$$

Lade- und Leckluftmengen umgerechnet auf Norm- und Ansaugzustand

- V_{ANa} = Lademenge in Normkubikmeter [m³/min]
 V_{AAa} = Lademenge bezogen auf den Aussaugzustand [m³/min]
 V_{LECKNa} = Leckmenge in Normkubikmeter [m³/min]
 V_{LECKAa} = Leckmenge bezogen auf den Aussaugzustand (Ausströmvolumen) [m³/min]
 m_{AL} = Ansaug-Lademassenstrom bei Betriebsdruck (kg/h)
 R_{fL} = spezielle oder individuelle Gaskonstante für feuchte Luft (Ansaugzustand) [J/(kg·K)]
 T_{n} = Normtemperatur [K]
 p_{n} = Normdruck [Pa]
 T_{A} = Lufttemperatur Ansaugstelle [K]
 p_{amb} = Barometer-, Umgebungs-, Atmosphärendruck [Pa]

Lademengen

$$V_{\text{ANa}} := \frac{m_{\text{AL}}(Z_1) \cdot R_{\text{fLA}} \cdot T_{\text{n}}}{p_{\text{n}}}$$

$$V_{\text{ANa}} = 7.15522 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$V_{\text{AAa}} := \frac{m_{\text{AL}}(Z_1) \cdot R_{\text{fLA}} \cdot T_{\text{A}}}{p_{\text{amb}}}$$

$$V_{\text{AAa}} = 8.00627 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Leckmengen

$$V_{\text{LECKNa}} := \frac{m_{\text{LECKa}}(Z_2) \cdot R_{\text{fLA}} \cdot T_{\text{n}}}{p_{\text{n}}}$$

$$V_{\text{LECKNa}} = -9.10778 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$V_{\text{LECKAa}} := \frac{m_{\text{LECKa}}(Z_2) \cdot R_{\text{fLA}} \cdot T_{\text{A}}}{p_{\text{amb}}}$$

$$V_{\text{LECKAa}} = -10.19107 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Literaturverzeichnis

- [1] Dipl.- Ing. Ewald Marx: Feuerungstechnik 1995, Herausgeber: Verlag Gustav Kopf GmbH, 71336 Waiblingen 1994
- [2] Prof. W. Geiger: Vorlesung Thermodynamik der feuchten Luft; Vorlesung am ZTL (Zentralschweizerischen Technikum Luzern, heute FHZ [Fachhochschule Zentralschweiz]), Ausgabe 1988, Anhang A8 Formel für die Berechnung von Stoffwerten
- [3] Bernd Glück: Zustands- und Stoffwerte, Wasser-Dampf-Luft, Verbrennungsrechnung, 2. bearbeitete und erweiterte Auflage, Verlage für das Bauwesen GmbH-Berlin 1991, ISBN 3-345-00487-9
- [4] Recknagel, Sprenger, Hönnmann: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; Herausgeber Dr.-Ing.Winfried Hönnmann; 65. Auflage 1990/1991; R. Oldenbourg Verlag München Wien, ISBN 3-486-35915-0
- [5] Ruppelt Erwin (Hrsg.): Druckluft-Handbuch; 4. Auflage; Vulkan-Verlag Essen; 2003; ISBN 3-8027-2548-4
- [6] Dolder Markus: Berechnung der individuellen Gaskonstante aus Zusammensetzung der Luft, Raumanteil und molarer Masse (interne Berechnung und Zusammenstellung auf Grund von Angaben in Fachliteratur)
- [7] Mende/Simon: Physik, Gleichungen und Tabellen; VEB Fachbuchverlag Leipzig; 9. Auflage 1986

8. Hinweise zum Anlagenbau und zur Auswahl von Komponenten

8.1 Hinweise für eine bedarfsgerechte FU-regulierte Absaugung

Im Kapitel 4.2.2 wurde folgender Hinweis gemacht:

Die Absauganlage (Netz, Druckverluste usw.), der eingesetzte Ventilator, die Betriebspunkte und die Regelstrategie sind auf einander abzustimmen und für jede Anlage durch einem Fachmann mit Fachwissen und Praxiserfahrung korrekt aus zulegen und in Betrieb zu nehmen.

Dazu nun konkrete Hinweise:

Will man bedarfsgerecht mit einem FU reguliert absaugen wird das folgendermassen angegangen:

1. Konzept des Netzes so, dass eine bedarfsgerechte Absaugung möglich ist (siehe Kapitel 4.2.2)
2. Netz auf möglichst geringen Druckverlust konzipieren (siehe Hinweise Kapitel 4.2.1, z.B. 45° Bögen)
3. Berechnung aller Druckverluste des Systems (Leitungsnetz, Filter usw., bei den Filtern ist die Filterverschmutzung zu berücksichtigen, also der Enddruckverlust)
4. Ermittlung der verschiedenen Lastzustände (Volllast, Teillast)
5. Abschätzung der Wahrscheinlichkeit von Anlagenerweiterungen, Konzept so aufbauen, dass bei Anlagenerweiterungen die Anlage immer noch optimal betrieben werden kann.
6. Auswahl eines optimalen Ventilators (guter Wirkungsgrad, bester Wirkungsgrad an dem Betriebspunkt wo vermutlich die häufigste Last ist)
7. Festlegen der Sollwerte für die Drehzahlregulierung (Drucksollwert für die Konstantdruckregulierung)
8. Kontrolle, wie sich die Betriebspunkte bei unterschiedlichen Lastzuständen verhalten.
9. Nach dem Bau der Anlage eine sorgfältige Inbetriebsetzung mit Messungen durchführen und protokollieren
10. Eventuell Sollwerte anpassen
11. Anlage sauber dokumentieren (mit Anlagenkennlinien, Sollwerteeinstellungen usw.)

Bemerkung: Bei einer flachen Ventilator Kennlinie und je nach dem wo die Betriebspunkte liegen, ergeben sich durch den Einsatz eines Frequenzumformers nicht grosse Einsparungen (dies ist abhängig von der Anlage, vom eingesetzten Ventilator und von der Betriebsweise.).

Mit wem ist das anzugehen?

Mit einem Fachmann. Hier stellt sich die Frage wer ein Fachmann ist. Grundsätzlich müsste der Anlagenplaner oder der Anlagenersteller ein Fachmann sein. In der Praxis ist dies nicht immer der Fall. Die Autoren haben Kenntnis von einer Anlage, bei der eine in der Schweiz namhafte Firma bei einem Kunden eine Absauganlage mit Frequenzregulierung des Abluftventilators gebaut hat. Die Anlage hat nicht funktioniert (Materialablagerungen und Verstopfungen in den Absaugrohren) und die Frequenzumformerregulierung wurde durch den Betreiber still gelegt.

Es gibt aber auch viele gute Beispiele wo Firmen eine Frequenzregulierung des Abluftventilators erfolgreich und mit grossen Einsparungen gegenüber einer Anlage ohne FU realisiert haben. Mit Vorteil sind daher Angaben über Referenzanlagen einzufordern.

8.2 Rückführung von Abluft in den Produktionsraum (Umluftbetrieb)

8.2.1 Umluftqualität

Die Rückführung von sauberer Abluft in den Produktionsraum (Umluftbetrieb) ist eine Lösung, die seit Jahren in der Holzindustrie so praktiziert wird (jedoch nicht überall und auch nicht von allen Lieferanten). Den Autoren sind durch dieses Vorgehen keine negativen Auswirkungen bekannt. Grundsätzlich kann dazu folgendes gesagt werden:

Die Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte gesundheitsgefährdender Stoffe (MAK-Werte) liegen gemäss SUVA-Publikation "Grenzwerte am Arbeitsplatz 2003" [22] für Holzstaub bei 2 mg/m³ (mit Buche / Eiche) und bei 5 mg/m³ (ohne Buche / Eiche).

Wenn aus Gründen der Energieersparnis mit Schadstoffen verunreinigte Luft in den Arbeitsraum zurückgeführt werden soll, sind gemäss Wegleitung Arbeitssicherheit Art. 33 VUV folgende Bedingungen einzuhalten:

- Die Konzentration des Schadstoffes in der rückgeführten Luft im Zuluftstrom muss möglichst tief gehalten werden. Sie darf 1/3 des MAK-Wertes nicht überschreiten. Das kann in der Regel erreicht werden durch
 - Verwenden von Filtern, welche die Luft reinigen (z.B. dadurch, dass sie partikelförmige Schadstoffe zurückhalten)
 - durch Verdünnen verunreinigter Luft (z.B. Verunreinigung durch Gase oder Dämpfe) mit Frischluft, wobei der Rückluftanteil der Abluft so klein zu wählen ist, dass eine möglichst geringe Gleichgewichtskonzentration resultiert.
- Bei ortsfesten Ventilationsanlagen mit Luftrückführung muss das System über eine Einrichtung verfügen, die es erlaubt, kurzfristig auf den vollständigen Frischluftbetrieb umzustellen.

In der Praxis werden diese Vorgaben mit guten Filteranlagen problemlos eingehalten. Gute Lieferanten (Hersteller) arbeiten mit Werten von 10% des MAK-Wertes von 2 mg/m³ (also mit 0.2 mg/m³) Staubgehalt in der Rückluft. Diese Werte werden über die ganze Lebensdauer der Filter (ca. 8 bis 10 Jahren) beibehalten. Nachmessungen an bestehenden Anlagen bestätigen dies.

Hersteller, die qualitativ gute Anlagen erstellen, bauen 99% aller Anlagen mit dieser Technik. Eine Umschaltung Fortluft / Umluft ist dabei auch immer standardmässig vorhanden.

Wenn gewünscht, kann die Umluft mit Sensoren überwacht werden. Mit einer solchen Überwachung ist gewährleistet, dass eine Überschreitung des MAK-Wertes erkannt wird (z.B. durch einen Filterschaden).

Werden in den Produktionsräumen noch andere Arbeiten (nicht nur Holzbearbeitung) ausgeführt und kommt es dabei zu Luftverunreinigungen (z.B. durch Farben, Lacke oder Leim), so ist dies ebenfalls zu berücksichtigen.

8.2.2 Umlufteinführung

Die Umluft ist so in den Raum einzuführen, dass für das Betriebspersonal keine Zugerscheinungen entstehen und dass im Produktionsraum kein Staub aufgewirbelt wird.

8.3 Hinweise für die Motorauswahl

8.3.1 Vorbemerkung

Elektromotoren werden in Europa seit einigen Jahren in Effizienzklassen eingeteilt. Der europäische Herstellerverband CEMEP¹⁾ verständigte sich mit der zuständigen Generaldirektion Energie der europäischen Kommission, eine Klassifizierung von Elektromotoren einzuführen. Danach werden Drehstrommotoren im Leistungsbereich zwischen 1,1 und 90 kW (ausschliesslich 2- und 4-polige Motoren) in drei sogenannte Effizienzklassen („eff-Klassen“ eff = efficiency) eingeteilt. Zur Klassifizierung wurden drei Grenzkurven festgelegt. Die Hersteller bescheinigen durch Herstellererklärungen die Einhaltung der geforderten Grenzwerte. Um Transparenz zu erreichen, wurden zahlreiche Randbedingungen wie z.B. das Messverfahren zur Wirkungsgradbestimmung gemäss DIN EN 60034-2 (IEC 34-2) definiert.

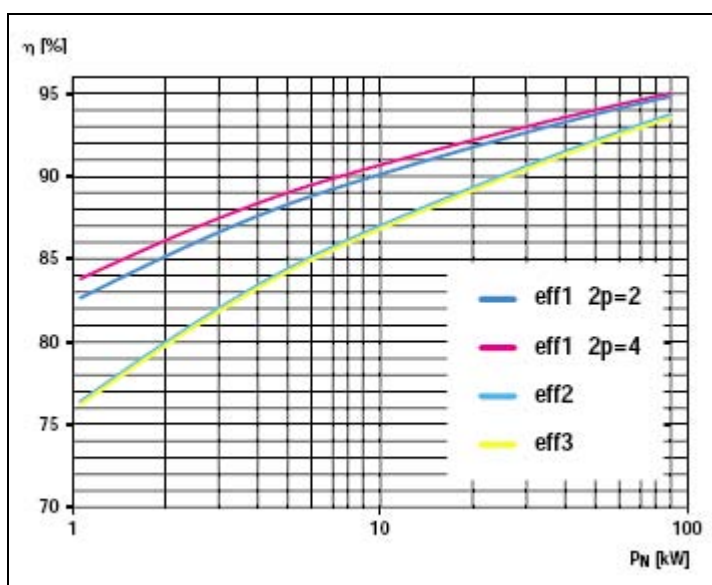


Abbildung 8.1: Diagramm mit den Grenzwerten der Effizienzklassen [23, Seite 2].

Die CEMEP¹⁾ eff-Klassifizierung erfolgt durch geschützte, lizenzierte Logos:



EFF 3
Entspricht den derzeit auf dem Markt befindlichen üblichen Wirkungsgraden (hauptsächlich < AH100)



EFF 2
Im Wirkungsgrad verbesserte Motoren



EFF 1
„Hocheffiziente“ Motoren, η liegt z.T. über den nord-amerikanischen Anforderungen.

¹⁾ European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (weitere Informationen siehe auch Kapitel "verwendete Abkürzungen")

8.3.2 Vergleich

In den meisten Fällen lohnt es sich, Motoren der Effizienzklasse 1 einzusetzen, da der geringe Mehrpreis in kurzer Zeit amortisiert ist. Dazu ein kurzer Vergleich an Hand eines konkreten Beispiels:

Grundlage

Verwendung	Motor für den Antrieb eines Ventilators, Fussmotor
benötigte Antriebsleistung	$P_{\text{mech}} = 19 \text{ kW}$
Nennleistung des Elektromotors	$P_N = 22 \text{ kW}$
Nenn-Motorendrehzahl	$n_s = 1'500 \text{ min}^{-1}$
Betriebszeit	07:00 bis 12:00 und 13:00 bis 18:00 Uhr, Montag bis Freitag 50 Wochen
Betriebsdauer	10h pro Tag 50 h pro Woche 2'500 h pro Jahr
Elektrizitätskosten	Energie: 0.15 Fr. / kWh Leistung: 63.60 Fr./ kW und Jahr

Vorgehen

1. Motorauswahl, Ermitteln der Motorauslastung
2. Beschaffen der Motordaten
3. Ermitteln des Wirkungsgrades bei der verwendeten Motorauslastung
4. Berechnung der bezogenen Leistung
5. Berechnung des Energieverbrauches
6. Kostenberechnung, Ermittlung der Amortisationszeit

Ermittlung Motorauslastung

MA	=	Motorauslastung [-]
P_{mech}	=	benötigte Antriebsleistung [kW]
P_N	=	Nennleistung des Elektromotors [kW]

$$MA = \frac{P_{\text{mech}}}{P_N}$$

$$MA = \frac{19 \text{ kW}}{22 \text{ kW}} = \underline{\underline{0.86}}$$

(Bemerkung: Die Motorauslastung wird benötigt, damit bei den Hersteller Angaben der Wirkungsgrad bei der entsprechenden Auslastung [50%, 75%, 100%] gewählt werden kann.)

Variante A: Daten des Motors Effizienzklasse 2

Item	Type	Rated output		Rated speed [rpm]	Rated torque [Nm]	Efficiency			Power factor cos φ _N	Full load current			Locked rotor torque T _L /T _N	Locked rotor current I _L /I _N	Breakdown torque T _B /T _N	Moment of inertia J [kgm ²]	Sound power level L _{WA} [dB]	Sound pressure level L _{PA} [dB]	Weight (IMB3) m [kg]
		P _N [kW]	[HP]			η _N [%]	at % of full load	50%		75%	100%	I _N at rated voltage							
2p=4 n _s =1500 rpm																			
36.	Sg56-4A	0,06	0,08	1400	0,409	44,0	52,0	55,0	0,66	0,43	0,25	0,25	1,8	3,3	2,0	0,00015	56	49	2,7
37.	Sg56-4B	0,09	0,12	1380	0,614	54,0	58,0	61,0	0,65	0,59	0,34	0,34	2,0	3,2	1,9	0,00019	56	49	2,9
38.	Sg63-4A	0,12	0,17	1380	0,830	56,0	60,0	64,0	0,72	0,70	0,40	0,40	2,0	3,2	2,0	0,00024	58	51	3,6
39.	Sg63-4B	0,18	0,25	1380	1,245	60,0	62,0	64,0	0,70	1,10	0,65	0,65	2,0	3,2	2,0	0,00031	58	51	4,2
40.	Sh71-4A	0,25	0,33	1380	1,730	60,0	63,0	66,0	0,68	1,50	0,85	0,85	2,0	3,0	2,0	0,00061	58	51	4,8
41.	Sh71-4B	0,37	0,50	1370	2,579	62,0	65,0	68,0	0,68	2,20	1,25	1,25	2,1	3,1	2,1	0,00077	63	56	5,9
42.	Sh80-4A	0,55	0,75	1400	3,750	62,0	68,0	70,0	0,72	2,80	1,60	1,60	2,1	3,6	2,1	0,00158	65	58	7,5
43.	Sh80-4B	0,75	1,00	1390	5,150	67,0	73,0	75,0	0,73	3,50	2,00	2,00	2,1	4,0	2,1	0,0019	65	58	8,8
44.	Sh90S-4	1,10	1,50	1405	7,480	75,5	77,8	76,7	0,80	4,50	2,70	2,60	2,2	4,9	2,8	0,0023	71	60	14,0
45.	Sh90L-4	1,50	2,00	1410	10,16	78,1	80,0	79,0	0,78	6,10	3,70	3,50	2,5	5,3	2,8	0,0028	71	60	16,5
46.	Sg100L-4A	2,20	3,00	1425	14,74	80,2	82,3	82,0	0,80	8,30	5,10	4,80	2,5	6,1	2,8	0,0058	71	65	25,0
47.	Sg100L-4B	3,00	4,00	1415	20,25	79,9	81,9	82,7	0,81	11,4	6,90	6,60	2,6	6,1	2,7	0,0065	76	65	26,0
48.	Sg112M-4	4,00	5,50	1435	26,62	84,0	85,6	85,1	0,82	14,4	8,70	8,30	2,6	6,3	3,0	0,0118	76	65	34,0
49.	Sg132S-4	5,50	7,50	1450	36,22	83,9	85,7	85,9	0,84	19,1	11,6	11,0	2,2	6,9	3,1	0,029	76	65	62,0
50.	Sg132M-4	7,50	10,0	1450	49,40	87,0	87,8	87,0	0,85	25,3	15,4	14,6	2,4	6,7	3,1	0,035	81	65	73,0
51.	Sg160M-4	11,0	15,0	1460	71,95	88,2	89,3	89,0	0,85	36,2	22,0	20,9	2,3	7,0	3,1	0,061	81	65	105
52.	Sg160L-4	15,0	20,0	1460	98,0	89,1	89,9	89,5	0,87	48,0	29,2	27,7	2,4	7,3	3,2	0,075	88	65	125
53.	Sg180M-4	18,5	25,0	1470	120	90,0	90,9	90,5	0,90	56,8	34,5	32,8	2,4	6,8	2,9	0,135	88	73	165
54.	Sg180L-4	22,0	30,0	1465	143	90,4	91,3	91,0	0,90	67,2	40,8	38,8	2,7	7,3	2,8	0,155	88	73	175
55.	Sg200L-4	30,0	40,0	1472	195	91,7	92,5	92,5	0,88	91,8	56,0	53,0	2,9	7,1	2,5	0,310	84	69	265
56.	Sg225S4	37,0	50,0	1475	240	92,0	93,0	92,6	0,88	114	69,0	66,0	2,1	6,3	2,2	0,440	85	73	320
57.	Sg225M4	45,0	60,0	1480	291	93,9	94,3	94,0	0,88	137	83,0	79,0	2,4	7,0	2,3	0,530	85	73	345

Abbildung 8.2: Technische Daten Motor Effizienzklasse 2, Werte der Firma Unitec AG, Kloten [24].

Kosten des Motors Sg180L-4: Fr. 1'951.- (Endverbrauchspreis inkl. MWST)

Variante B: Daten des Motors Effizienzklasse 1

Item	Type of motor	Rated output		Rated speed [rpm]	Rated torque [Nm]	Rated efficiency			Power factor cos φ _N	Full load current		Locked rotor torque T _L /T _N	Locked rotor current I _L /I _N	Breakdown torque T _B /T _N	Moment of inertia J	Weight (IMB3) m [kg]
		P _N [kW]	n _N			η _N [%]	at % of full load	50%		75%	100%					
2p=4 n _s =1500 rpm																
24	SEE 80-4A	0,55	1430	3,67	78,0	81,0	81,0	0,66	1,5	1,5	2,9	5,2	3,2	0,00208	9,8	
25	SEE 80-4B	0,75	1430	5,00	80,0	83,2	83,9	0,62	2,1	2,1	3,4	5,8	3,6	0,00265	12	
26	SEE 90 S-4	1,1	1440	7,32	81,0	83,4	83,8	0,74	2,7	2,6	2,7	6,4	3,2	0,0031	16,3	
27	SEE 90 L-4	1,5	1435	9,99	82,7	84,9	85,0	0,75	3,6	3,4	2,9	6,7	3,6	0,0036	18,2	
28	SEE 100 L-4A	2,2	1460	14,4	83,2	86,1	86,4	0,70	5,6	5,3	3,2	7,1	3,75	0,0066	31,5	
29	SEE 100 L-4B	3,0	1450	19,8	83,3	85,7	87,4	0,70	7,6	7,2	2,75	6,8	3,35	0,0073	32,7	
30	SEE 112 M-4	4,0	1460	26,2	86,4	88,1	88,3	0,81	8,5	8,1	2,5	7,6	3,4	0,0115	40,2	
31	SEE 132 S-4	5,5	1465	35,9	87,3	89,0	89,2	0,83	11,3	10,7	2,4	7,7	3,3	0,024	69	
32	SEE 132 M-4	7,5	1450	49,4	90,0	90,7	90,1	0,85	14,9	14,2	2,4	7,2	3,15	0,027	74	
33	SEE 160 M-4	11	1470	71,5	90,2	91,2	91,0	0,81	22,6	21,5	2,3	7,2	3,0	0,057	109	
34	SEE 160 L-4	15	1465	97,8	91,4	92,1	91,8	0,81	30,6	29,1	2,6	7,4	3,25	0,076	124	
35	SEE 180 M-4	18,5	1475	119,8	91,3	92,6	92,2	0,86	35,3	33,5	3,3	8,9	3,3	0,139	175	
36	SEE 180 L-4	22	1470	142,9	91,8	92,7	92,6	0,87	41,3	39,2	3,0	8,0	3,0	0,144	180	
37	SEE 200 L4	30	1477	194,0	92,4	93,5	93,5	0,84	58,0	55,0	3,0	7,1	2,8	0,356	315	
38	SEE 225 S4	37	1483	238,0	93,6	94,4	94,3	0,87	69,0	65,0	2,6	7,5	2,6	0,461	395	
39	SEE 225 M4	45	1484	290,0	93,5	94,4	94,5	0,85	85,0	81,0	3,0	7,6	2,8	0,54	415	
40	SEE 250 M4	55	1484	354,0	94,7	95,0	95,0	0,90	98,0	93,0	2,8	7,5	2,6	0,87	500	
41	SEE 280 S4	75	1490	481,0	94,2	95,1	95,2	0,88	136,0	129,0	2,0	7,9	2,4	1,348	855	
42	SEE 280 M4	90	1489	577,0	94,6	95,1	95,2	0,88	163,0	155,0	2,2	8,4	2,4	1,537	900	
43	SEE 315 S4	110	1488	706,0	94,6	95,4	95,5	0,89	197,0	187,0	2,1	7,7	2,8	1,695	830	

Abbildung 8.3: Technische Daten Motor Effizienzklasse 1, Werte der Firma Unitec AG, Kloten [24].

Kosten des Motors SEE180L-4: Fr. 2'240.- (Endverbrauchspreis inkl. MWST)

Kostendifferenz: Fr. 2'240.00 - Fr. 1'951.00 = Fr. 289.-

(Bemerkung: Dieser Preisvergleich wurde auch mit anderen Motorenfabrikaten gemacht. Das Resultat war für diese Beispielrechnung (22 kW Fussmotor) immer ähnlich: ca. Fr. 300.- Differenz.)

Ermittlung des Wirkungsgrades

Wirkungsgrad Variante A (Effizienzklasse 2)	91.0% (η_n gemäss Tabelle Hersteller bei der ermittelten Auslastung)
Wirkungsgrad Variante B (Effizienzklasse 1)	92.6% (η_n gemäss Tabelle Hersteller bei der ermittelten Auslastung)

Sind keine Herstellerdaten in Tabellenform vorhanden, so kann für eine Abschätzung das untenstehende Diagramm verwendet werden. Mit Vorteil wird jedoch mit Herstellerangaben gearbeitet, da innerhalb der Effizienzklassen auch noch grosse Unterschiede vorhanden sein können.

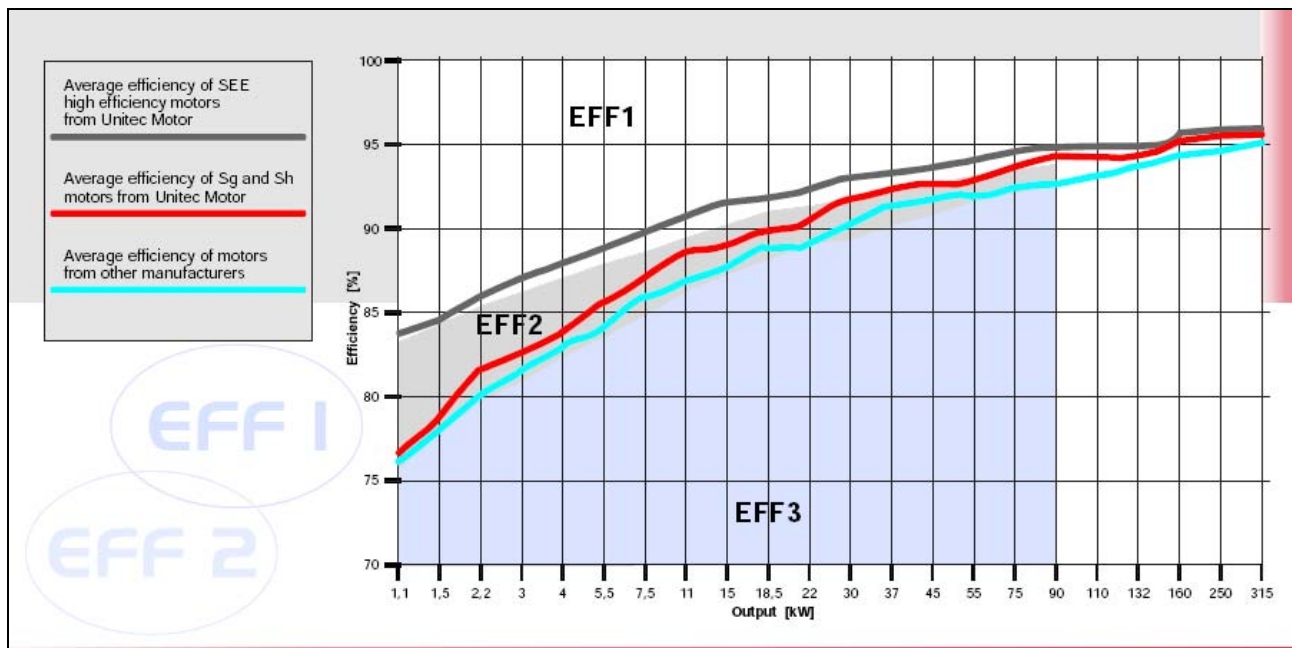


Abbildung 8.4: Diagramm mit den Effizienzklassen (EFF-Bereiche blau, grau und weiss) und Kurvenverläufe von am Markt erhältlichen Motoren. Quelle: Firma Unitec AG, Kloten [24].

Berechnung der bezogenen Leistung

- P_{el} = elektrische Leistungsaufnahme [kW]
- P_{mech} = benötigte Antriebsleistung [kW]
- η_n = Motorwirkungsgrad bei der ermittelten Auslastung [-]

$$P_{el} = \frac{P_{mech}}{\eta_n}$$

$$P_{el(A)} = \frac{19kW}{0.91} = \underline{\underline{20.88kW}}$$

$$P_{el(B)} = \frac{19kW}{0.926} = \underline{\underline{20.52kW}}$$

Berechnung des Energieverbrauches

E_{el} = elektrischer Energieverbrauch [kWh]
 P_{el} = elektrische Leistungsaufnahme [kW]
 t = Betriebsdauer [h]

$$E_{el} = P_{el} \cdot t$$

$$E_{el(A)} = 20.88kW \cdot 2'500h = \underline{\underline{52'200kWh}}$$

$$E_{el(B)} = 20.52kW \cdot 2'500h = \underline{\underline{51'300kWh}}$$

Differenz: 52'200 kWh – 51'300 kWh = 900 kWh

Kostenberechnung, Ermittlung der Amortisationszeit

Mehrkosten Energie: 900 kWh x Fr. 0.15 = Fr. 135.00 / p.a.

Mehrkosten Leistung 0.36 kW x Fr. 63.60 = Fr. 22.90 / p.a.

Total Kosteneinsparungen pro Jahr = Fr. 157.90

Mehrkosten Motor Effizienzklasse 1 = Fr. 289.00

Amortisationszeit (als einfaches Verhältnis) = 1.83 Jahre

$$Amortisation = \frac{Fr.289.00}{Fr.157.90} = \underline{\underline{1.83Jahre}}$$

Bei einer angenommenen Lebensdauer des Motors von 10 Jahren ergeben sich Einsparungen von gesamthaft Fr. 1'290.-. Diese Einsparung ergibt einen jährlichen "Zinsertrag" für diese Investition von ca. 45% ^{*1}.

^{*1} Wenn Fr.100.- auf der Bank zu 5% verzinst werden, erhält man Ende Jahr Fr. 5.- als Zinsbetrag. Wird eine Stromsparmassnahme realisiert, welche pro Jahr Fr. 100.- kostet (eine Lebensdauer von einem Jahr hat) und Einsparungen pro Jahr von Fr. 120.- ergibt, so erhält man die investierten Fr. 100.- zurück und dazu noch Fr. 20.-, was einem Zins von 20% entsprechen würde. (Als Berechnung einfache Verhältnisbildung: (((Lebensdauer der Massnahmen * Einsparungen)- Investitionskosten) / Investitionskosten) / Lebensdauer [%] pro Jahr, ohne Berücksichtigung von Zinseszinsen.)

$$Zinsertrag = \frac{(Fr.159.90 \cdot 10Jahre) - Fr.289.00}{Fr.289.00 \cdot 10Jahre} \cdot 100\% = \underline{\underline{45.3\%}}$$

Verlangen Sie von Ihren Lieferanten und Maschinenherstellern Motoren der Effizienzklasse 1. Die Mehrkosten sind bei normaler Auslastung in den meisten Fällen innert kurzer Zeit (max. 3 Jahre) amortisiert!

9. Verzeichnisse, Begriffe und Abkürzungen, Übersichten, Schemas

9.1 Detailliertes Inhaltsverzeichnis

Dieses Inhaltsverzeichnis wurde erstellt für eine detaillierte Auflistung und Übersicht der Kapitel und Unterkapitel sowie und für die Navigation in diesem Papier, wenn es dem Benutzer / Leser als Datei vorliegt.

Inhaltsverzeichnis	3
Zusammenfassung (deutsch)	5
Résumé (français)	7
Abstract (english)	9
Riassunto (italiano)	11
1. Ausgangslage, Vorgehen	13
1.1 Ausgangslage.....	13
1.2 Projektziel.....	13
1.3 Aufgabenstellung.....	13
1.4 Vorgehen.....	13
1.5 Dank an Beteiligte.....	14
2. Zusammenstellung der Bereiche	15
2.1 Produktionsbereiche.....	15
2.1.1 Rundholzplatz.....	15
2.1.1.1 Rundholzplatz 1 mit Anlieferung.....	15
2.1.1.2 Rundholzplatz 2 mit Anlieferung.....	15
2.1.2 Entrindungsanlagen.....	17
2.1.2.1 Link-Entrinder.....	17
2.1.2.2 Valancone-Entrinder.....	17
2.1.3 Aussenhackanlage (R+E).....	18
2.1.4 Sägewerk.....	18
2.1.4.1 Blockband-Säge.....	18
2.1.4.2 Vollgatteranlage.....	19
2.1.4.3 Profilerspanneranlage.....	19
2.1.5 Innenhackanlage.....	20
2.1.6 Becherwerk.....	20
2.1.7 Brettsortierwerk (Fabr. Springer / Bälz).....	21

2.1.8	Brettsortierwerk (Fabr. Link).....	21
2.1.9	Hobelwerk (Täfer Hobelwerk).....	21
2.1.10	Hobelwerk (Bauholz Hobelwerk).....	21
2.1.11	Leimwerk 1	22
2.1.12	Leimwerk 2	22
2.1.13	Leimwerk 3	22
2.1.14	Leimwerk 4	23
2.1.15	Horizontalbandsäge und Kappstation Paul	23
2.1.16	Ablängestation.....	23
2.1.17	Trocknungsanlagen.....	24
2.1.17.1	Trockenkammern	24
2.1.17.2	Vakuumtrockner	24
2.2	Infrastrukturanlagen.....	25
2.2.1	Druckluft	25
2.2.2	Absauganlagen	26
2.2.3	Wärmeerzeugung und -Verteilung	27
3.	Messungen	28
3.1	Messungen an den Druckluftanlagen	28
3.1.1	Allgemeines Vorgehen	28
3.1.2	Konkretes Vorgehen Leckverluste und Liefermengen	30
3.1.3	Liefermengen der Kompressoren.....	33
3.1.4	Spezifische Kompressorenleistung	34
3.2	Messungen an den Absauganlagen	37
3.2.1	Messung der Ventilatoren	37
3.2.2	Messung bei unterschiedlichen Volumenströmen.....	39
3.3	Messungen an der Wärmeerzeugung	41
3.3.1	Durchgeführte Messungen	41
3.4	Messungen an den Trockenkammern	43
3.4.1	Durchgeführte Messungen	43
3.4.2	Kennwerte spezifisch installierte Ventilatorleistung.....	45
3.5	Messungen an der Aussenhackanlage	46
3.5.1	Durchgeführte Messungen	46
3.6	Messungen an den Entsorgungsanlagen	48
3.6.1	Durchgeführte Messungen und Ermittlung der Leistungen und Energien.....	48
3.7	Messungen an der Keilzinkenanlage Leimwerk 2	49
3.7.1	Durchgeführte Messungen	49
3.8	Messungen an der Beleuchtung Leimwerk 1	53
3.8.1	Durchgeführte Messungen	53

3.9	Messungen am Haupt-Elektrozähler	54
3.9.1	Ausgangslage.....	54
3.9.2	Energie und Leistung in der Vergangenheit.....	54
3.9.3	Aktuelle Energie- und Leistungswerte.....	56
4.	Potential und Massnahmen	58
4.1	Druckluft	58
4.1.1	Ausgangslage.....	58
4.1.1.1	Betriebsdruck	59
4.1.1.2	Leckverluste	61
4.1.2	Massnahmen und Einsparpotential Druckluft.....	62
4.2	Absauganlagen.....	66
4.2.1	Ausgangslage.....	66
4.2.2	Bedarfsgerechte Absaugungen.....	67
4.2.3	Rückführung der sauberen Abluft zurück in den Produktionsraum	71
4.2.4	Massnahmen und Einsparpotential Absauganlagen	73
4.3	Wärmeerzeugung	74
4.3.1	Ausgangslage.....	74
4.3.2	Massnahmen und Einsparpotential Wärmeerzeugung	74
4.4	Heizungsnetz.....	75
4.4.1	Ausgangslage Heizungsnetz.....	75
4.4.2	Massnahmen Heizungsnetz	75
4.5	Trockenkammern.....	76
4.5.1	Allgemeine Bemerkungen	76
4.5.2	Ausgangslage.....	76
4.5.3	Massnahmen und Einsparpotential Trockenkammern	77
4.6	bedarfsgerechtes, manuelles und automatisches Einschalten von Verbrauchern	78
4.6.1	Rundholzplatz, Anlieferung	78
4.6.1.1	Rundholzplatz 1	78
4.6.1.2	Rundholzplatz 2	78
4.6.1.3	Anlieferung (Vermessung und Sortierung) Rundholzplatz 2	78
4.6.2	Entrindungsanlagen	79
4.6.2.1	Link-Entrinder	79
4.6.2.2	Valancone-Entrinder	79
4.6.3	Aussenhackanlage (R+E).....	79
4.6.4	Sägewerk	80
4.6.4.1	Blockband-Säge.....	80
4.6.4.2	Vollgatteranlage	80
4.6.4.3	Profilterspanneranlage	80

4.6.5	Entsorgung Sägerei.....	80
4.6.6	Brettsortierwerk (Fabr. Springer / Bälz).....	81
4.6.7	Brettsortierwerk (Fabr. Link).....	81
4.6.8	Hobelwerk (Täfer Hobelwerk).....	81
4.6.9	Hobelwerk (Bauholz Hobelwerk).....	81
4.6.10	Leimwerk 1.....	82
4.6.11	Leimwerk 2.....	82
4.6.12	Leimwerk 3.....	82
4.6.13	Leimwerk 4.....	82
4.6.14	Horizontalbandsäge und Kappstation Paul.....	83
4.6.15	Ablängestation.....	83
4.6.16	Allgemeine Bemerkungen zum Ein- und Ausschalten von Elektromotoren.....	83
4.7	Aussenhackanlage.....	84
4.7.1	Ausgangslage.....	84
4.7.2	Massnahmen und Einsparpotential Aussenhackanlage.....	84
4.8	Entsorgung.....	85
4.8.1	Ausgangslage.....	85
4.8.2	Massnahmen und Einsparpotential Entsorgung.....	85
4.8.3	Allgemeine Hinweise zur Entsorgung.....	85
4.9	Keilzinkenanlage Leimwerk 2.....	86
4.9.1	Ausgangslage.....	86
4.9.2	Massnahmen und Einsparpotential Keilzinkenanlage Leimwerk 2.....	86
4.10	Heben und Senken von Lasten.....	87
4.10.1	Ausgangslage.....	87
4.10.2	Generatorischer Betrieb beim Absenken der Lasten.....	89
4.10.3	Möglichkeiten der Rückspeisung.....	89
4.10.4	Vergleich mit und ohne Rückspeisung.....	89
4.11	Vermindern von Reibung.....	91
4.11.1	Ausgangslage.....	91
4.11.2	Beispiele für die Verminderung von Reibung.....	91
4.11.3	Massnahmen und Einsparpotential bei Reibungsverminderung.....	92
4.12	Prozessoptimierungen.....	93
4.12.1	Ausgangslage.....	93
4.12.2	Beispiele für die Optimierung des Produktionsprozesses.....	93
4.13	Beleuchtung.....	95
4.13.1	Ausgangslage Leimwerk 1.....	95
4.13.2	Ausgangslage Scheinwerfer.....	95
4.13.3	Massnahmen und Einsparpotential bei der Beleuchtung.....	96

4.13.4	Allgemeine Hinweise im Zusammenhang mit der Beleuchtung	96
4.14	Leistungsoptimierung	97
4.14.1	Ausgangslage.....	97
4.14.2	Leistungsoptimierung	97
4.14.3	Massnahmen und Einsparpotential Leistungsoptimierung.....	98
4.14.4	Allgemeine Bemerkungen zu Spitzenlastoptimierungssystemen.....	99
4.15	Blindstromkompensation	100
4.15.1	Ausgangslage.....	100
4.15.2	Massnahmen Blindstromkompensation	100
4.16	Kennzahlen als Führungsinstrument	101
4.16.1	Messungen am Hauptstromzähler	101
4.16.2	Messungen von Unterverteilungen.....	101
4.17	Organisatorische und betriebliche Massnahmen	101
4.17.1	Allgemeine Bemerkungen zur Mitarbeitersensibilisierung.....	101
4.17.2	Massnahmen Mitarbeitersensibilisierung	102
4.18	Verschiedenes.....	102
4.18.1	Hinweis zur Beheizung von Räumen mit Elektroheizungen.....	102
4.19	Zusammenfassung der Massnahmen	103
5.	Erfolgskontrolle, Nachmessungen	106
5.1	Druckluft	106
5.1.1	Eliminieren der Druckluftlecks	106
5.1.1.1	Ermittlung der Daten	106
5.1.2	Absperrern von Verbrauchsbereichen des Druckluftnetzes	109
5.1.3	Zusammenstellung der Werte Druckluft.....	109
5.2	Absauganlagen.....	111
5.2.1	Ersatz Absauganlage Leimwerk 1	111
5.2.2	Umbau Leimwerk 2 auf bedarfsgerechten Betrieb	111
5.2.3	Zusammenstellung der Werte Absauganlagen	111
5.3	Trockenkammern.....	112
5.3.1	Ausrüsten der Trockenkammern mit Frequenzumformer.....	112
6.	Vorgehensweise für die Ermittlung von Daten.....	113
6.1	Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen mit der Behältermethode	113
6.2	Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen durch die Einschaltdauermessung.....	113
6.3	Checkliste für die Behebung von Druckluftlecks	115
6.4	Ermittlung der Wärmeleistung und des Wärmeenergiebedarfes für die Erwärmung der Ersatzluft von Absauganlagen.....	117
6.4.1	Ermittlung der Leistung für die Erwärmung der Ersatzluft.....	117
6.4.2	Ermittlung der thermischen Energie für die Erwärmung der Ersatzluft.....	120

7. Detaillierte Messresultate und Berechnungen	122
7.1 Vereinfachte Ermittlung der Leckluft mittels Behältermethode	122
7.2 Vereinfachte Ermittlung der Liefermenge mittels Behältermethode	126
7.3 Ermittlung der Liefer- und Leckverlustmengen mit der Gradientenmethode	132
8. Hinweise zum Anlagenbau und zur Auswahl von Komponenten	147
8.1 Hinweise für eine bedarfsgerechte FU-regulierte Absaugung	147
8.2 Rückführung von Abluft in den Produktionsraum (Umluftbetrieb)	148
8.2.1 Umluftqualität	148
8.2.2 Umlufteinführung	148
8.3 Hinweise für die Motorauswahl.....	149
8.3.1 Vorbemerkung	149
8.3.2 Vergleich	150
9. Verzeichnisse, Begriffe und Abkürzungen, Übersichten, Schemas	154
9.1 Detailliertes Inhaltsverzeichnis	154
9.2 Tabellenverzeichnis	160
9.3 Abbildungsverzeichnis	160
9.4 Literaturverzeichnis	163
9.5 Übersichten, Skizzen, Schemas	165
9.5.1 Arealübersicht	165
9.5.2 Übersicht der Produktions- und Infrastrukturbereiche	167
9.6 Verwendete Messgeräte	169
9.7 Verwendete Software	169
9.8 verwendete Abkürzungen	171
9.9 Verwendete Begriffe und Fachausdrücke	172
9.10 Weiterführende Webseiten	175
9.11 Angaben zu den Autoren des Berichtes	176
9.12 Verteiler, Änderungs-, Versionsübersicht	177

9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Allgemeines Vorgehen für Messungen an Druckluftanlagen	29
Tabelle 4.1: Massnahmen und Einsparpotential Druckluftanlagen.....	64
Tabelle 4.2: Massnahmen und Einsparpotential Absauganlagen.....	73
Tabelle 4.3: Massnahmen und Einsparpotential Wärmeerzeugung	74
Tabelle 4.4: Massnahmen und Einsparpotential Absauganlagen.....	77
Tabelle 4.5: Massnahmen und Einsparpotential Aussenhackanlage	84
Tabelle 4.6: Massnahmen und Einsparpotential Entsorgung	85
Tabelle 4.7: Auswertung der Leistungsspitzen für den Monat November 2003	97
Tabelle 4.8: Massnahmen und Einsparpotential Leistungsreduktion	98
Tabelle 5.1: Gemessene Einsparungen Druckluft	109
Tabelle 5.2: Gemessene Einsparungen Absauganlagen.....	111
Tabelle 5.3: Gemessene Einsparungen Trockenkammern.....	112

9.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Rundholzplatz 2 mit Anlieferung. Hauptantrieb Kreissäge Leistung 45 kW. Das grüne Band ist der Sortierzug. Vom Sortierzug gelangen die Stämme in die Sortierboxen. Antriebe für Sortierzug: 26 / 33 kW.	16
Abbildung 2.2: Rundholzplatz 1. Kreissäge bei Anlieferung. Hauptantrieb Kreissäge 37 kW.	16
Abbildung 2.3: Maschinist bei Anlieferung Rundholzplatz 1. Je nach Maschinist werden die Maschinen bei Nichtgebrauch konsequent abgestellt oder nicht.	16
Abbildung 2.4: Entrindungsanlage (Gebäude in Mitte unter Portalkran) mit den beiden Entrindungsanlagen.....	17
Abbildung 2.5: In der Excentermulde wird das zu hackende Holz aufgegeben. Dieser Aufgabetisch hat eine Leistung von 18.5 kW	18
Abbildung 2.6: Über die Vibrarinne gelangt das Holz in den Einzug und danach in den Hacker. Der Hacker hat einen Antriebsmotor mit 200 kW.	18
Abbildung 2.7: Blockbandsäge für Stämme bis zu einem Meter Durchmesser.....	18
Abbildung 2.8: Bandsäge der Vollgatteranlage. Vollgatter Hauptantrieb 160 kW.	19
Abbildung 2.9: Zerspaner 1 der Profilerspaneranlage	19
Abbildung 2.10: Bandsägen der Profilerspaneranlage.....	19
Abbildung 2.11: Die Entsorgung der Späne und Schnitzel hat eine zentrale Bedeutung: Fällt die Entsorgung aus, kann nicht mehr produziert werden.....	20
Abbildung 2.12: Brettsortierwerk Springer	21
Abbildung 2.13: Sortierwerk Springer Leistung pro Motor ca. 3kW	21
Abbildung 2.14: Leimwerk 1. In grossen hydraulischen Pressen werden die geleimten Einzelteile zu grossen Stücken zusammengefügt.	22
Abbildung 2.15: Leimwerk 3. An Stelle von hydraulischen Pressen wird hier mit Vakuum gearbeitet. Der Luftdruck drückt die zu leimenden Teile zusammen.	22
Abbildung 2.16: Vakuumtrockner.....	24
Abbildung 2.17: Zwei der insgesamt 11 Trockenkammern.....	24
Abbildung 2.18: Druckluftkompressor 1 und 2. Antrieb pro Kompressor mit 75 kW Elektromotor.	25
Abbildung 2.19: Adsorptionstrockner für die Trocknung der Druckluft im Winter (mit Druckverlust von ca. 1 bar)	25
Abbildung 2.20: Leimwerk 1. Einzelabsaugung bei der Hobelmaschine.	26
Abbildung 2.21: Absaugventilatoren und Filterstation bei Leimwerk 2.	26
Abbildung 2.22: Ein verzweigtes, langes Netz verursacht hohe Druckverluste	26
Abbildung 2.23: Die hohen Druckverluste bedingen mehrere Ventilatoren hintereinander.	26

Abbildung 2.24: Verbrannt werden Schnitzel, Rinden- und Holzabfälle.	27
Abbildung 2.25: 5 MW Holzkessel mit Zyklonabscheider und Aschemulde.	27
Abbildung 2.26: Die Wärmeverteilung erfolgt mit Haupt- und Zwischenpumpen.....	27
Abbildung 3.1: Aufzeichnung des Mittelwertes der Wirkleistung aller Druckluftkompressoren mit Elektromessgerät [A] in der Woche 30 - 2003. Am ersten Wochenende 19./20.07.2003 wurde die Anlage bewusst laufen gelassen.....	30
Abbildung 3.2: Aufzeichnung des Mittelwertes der Leistung mit Elektromessgerät [A] aller Druckluftkompressoren in der Zeit vom 19.07.2003-18:36 bis 22.07.2003-08:00. Die Kompressoren wurden zur Ermittlung der Leckverluste bewusst laufen gelassen.	31
Abbildung 3.3: Beispiel Auswertung Laden des Druckbehälters (Messung Nr. 3) mit Kompressor 1.	32
Abbildung 3.4: Berechnete und grafisch dargestellte Funktion Druckverlauf im Behälter beim Laden und Entladen (Messung 1 und 2). Mittels der Gradientenmethode kann bei verschiedenen Drücken die Liefer- und Leckmenge ermittelt werden. Hier bei einem Betriebsdruck $p_{Bü}$ von 6.5 barü. Detaillierte Berechnungsgänge für eine Messreihe sind im Kapitel "Detaillierte Messresultate und Berechnungen" eingefügt.....	32
Abbildung 3.5: Liefermenge der Kompressoren (gemessene und Katalogwerte)	33
Abbildung 3.6: Spezifische Leistung der Kompressoren 1 bis 3.....	34
Abbildung 3.7: Angaben Spezifische Leistung in Literatur. Quelle: [8], Seite 12/26.....	34
Abbildung 3.8: Eintragungen der gemessenen und ermittelten Werte in das Diagramm "Spezifische Leistung". Der Katalogwert ist im guten Bereich, die gemessenen Werte der Kompressoren im schlechten Bereich. Vergleiche Angaben in [8, Seite 12/26].	35
Abbildung 3.9: Aufgenommene gemessene Wirkleistung in Abhängigkeit des Behälterdruckes für Kompressor 1 bis 3 (K1, K2, K3) und Katalogwert (K).....	36
Abbildung 3.10: Aufgenommene gemessene Wirkleistung am Absaugventilator Keilzinkenanlagen (Leimwerk 2), wenn verschiedenen Absaugstellen geschlossen sind.	39
Abbildung 3.11: Diagramm mit dem Mittelwert der Wirkleistung am 07.08.2003 von 07:00 bis 20:00. Die Hackanlage wird an diesem Tag relativ konsequent abgeschaltet.	46
Abbildung 3.12: Minimum, Maximum und Mittelwert der Wirkleistung der Aussenhackanlage am 25.09.2003 von 13:50 bis 15:12 Uhr. Die Minimum-, Maximum- und Mittelwerte sind die Werte, welche in der am Messgerät eingestellten Integrationsperiode erfasst wurden. In dieser Aufzeichnung ist als Integrationszeit 1 Sekunde eingestellt.	47
Abbildung 3.13: Innerhalb der gleichen Sekunde wird z.B. um 14:27:04 eine Minimalleistung von 47 kW, ein Mittelwert von 222 kW und eine Maximalleistung von 430 kW erfasst. Für Energiebetrachtungen ist nur der Mittelwert massgebend und für die Leistung, welche an das EW zu bezahlen ist, ist der aufsummierte Mittelwert in der definierten Leistungszeit (z.B. 15 Minuten) massgebend.....	47
Abbildung 3.14: Typischer Tagesverlauf der Entsorgungsanlagen, welche an der HV2 angeschlossen sind.	48
Abbildung 3.15: Keilzinkenanlage mit den beiden Zerspanermotoren. Die beiden Zinkenmotoren sind im Gehäuse unten eingebaut und im Bild nicht sichtbar.	49
Abbildung 3.16: Leistungsverlauf (als Mittelwert) der beiden Fräsmotoren während eines Produktionszyklus. Die beiden Motoren wurden gemeinsam gemessen. Leerlaufleistung der beiden 50 kW Motoren ca. 6.7 kW. Last nur während ca. 6 Sekunden.....	50
Abbildung 3.17: Leistungsfaktor (als Mittelwert) der beiden Fräsmotoren während eines Produktionszyklus. Die beiden Motoren wurden gemeinsam gemessen. Leistungsfaktor bei Leerlauf ca. 0.14. Bei Last während ca. 3-4 Sekunden ca. 0.6 bis 0.7 Last nur während ca. 3-4 Sekunden.	51
Abbildung 3.18: Mittelwert der Leistung der beiden Fräsmotoren in der Zeit von 09:15 bis 12:00 Uhr. Zu den Leerlaufzeiten des Produktionszyklus kommen noch andere Leerlaufzeiten, die bis zu 30 Minuten betragen können.	51
Abbildung 3.19: Grafische Darstellung Mittelwert Wirkleistung (rote Linie) und Leistungsfaktor (blaue Linie) gemessen beim Abgang Beleuchtung Leimwerk 1.	53
Abbildung 3.20: Wirkenergieverbrauch pro Quartal für die Jahre 1999 bis 2003	54
Abbildung 3.21: Wirkleistung pro Quartal für die Jahre 1999 bis 2003.....	54
Abbildung 3.22: Wirkenergie pro Quartal für die Jahre 1999 bis 2003 (Darstellung pro Quartal).....	55
Abbildung 3.23: Wirkleistung pro Quartal für die Jahre 1999 bis 2003 (Darstellung pro Quartal)	55
Abbildung 3.24: Wirk- und Blindenergiebezug als 15 Minutenwerte für den Monat September.....	56
Abbildung 3.25: Wirkleistung als 15 Minutenwerte für den 03.09.2003 (Gesamtleistung aller Verbraucher).....	57
Abbildung 4.1: Einstellung der Pressostaten im Frühjahr 2003.....	59
Abbildung 4.2: Druckverlauf Entladen (Messung Nr. 2). Die Kurvenform zeigt sehr deutlich den exponentiell höheren Leckverlust bei höheren Drücken. In der Grafik sind der Behälterüberdruck und die Zeit in Sekunden dargestellt.	60
Abbildung 4.3: Aufteilung Leckverlust bei 7.5 barü Betriebsdruck am Behälter.	61
Abbildung 4.4: Aufteilung Leckverlust bei 8.3 barü Betriebsdruck am Behälter.	61

Abbildung 4.5: Beispiel einer Ventilator Kennlinie für einen Ventilator Gebhard RZR ..-0400 mit eingezeichneten Betriebspunkten. Kennlinie aus [18, Seite 28].....	68
Abbildung 4.6: Prinzipskizze Absauganlage Produktionslinie Keilzinken.....	70
Abbildung 4.7: Prinzipskizze Absauganlage Produktionslinie Keilzinken mit abgesperrten Absaugstellen.....	70
Abbildung 4.8: Prinzipskizze Absauganlage Produktionslinie Keilzinken mit abgesperrten Absaugstellen.....	71
Abbildung 4.9: Ventilator in eine Trockenkammer.....	76
Abbildung 4.10: Rundholzplatz 2 mit den Sortierboxen und den Lagerplätzen.....	87
Abbildung 4.11: Rundholzplatz 2 mit den Sortierboxen und den Lagerplätzen.....	88
Abbildung 4.12: Widerstände des Portalkranes zur "Vernichtung" der Energie aus Absenken, Bremsen usw.....	88
Abbildung 4.13: Kettenzug zwischen Entrindungsanlage und Sägewerk.....	91
Abbildung 4.14: Sortierzug mit den Sortierboxen.....	91
Abbildung 4.15: Förderband für die Förderung von Täfer-Latten.....	92
Abbildung 4.16: Beispiel der Energiekennlinie einer Sägerei: Energiekennziffer in Funktion der Vorschubgeschwindigkeit. [4, Seite 64]93	
Abbildung 4.17: Verwendung von Halogenscheinwerfern an verschiedenen Standorten im Werk.....	95
Abbildung 4.18: Leistungsüberwachung am Beispiel von Online - Werten. Quelle [14].....	97
Abbildung 4.19: Auswertung der Schaltungen der Spitzenlastoptimierung. Quelle [14].....	98
Abbildung 5.1: Aufzeichnung des Mittelwertes der Leistung mit Elektromessgerät [A] aller Druckluftkompressoren. Die Anlage wurde bewusst laufen gelassen. Ein Kompressor mit einer Leistung von ca. 71 kW wird für die gesamten Leckverluste benötigt.....	106
Abbildung 5.2: Mittelwert der Leistung (während ca. 1 ½ Stunden) nach Behebung der Lecks in der Sägerei. Gegenüber dem vorherigen Bild sind die Schaltungen des Kompressors zu erkennen. Die Kompressoren wurden bewusst bei abgestellter Produktion laufen gelassen um die Energien für die Lecks zu erfassen.....	107
Abbildung 5.3: Mittelwert, sowie minimale und maximale Leistung bei abgestellten Produktionsanlagen. Die Leerlaufzeiten und die Anläufe sind gut zu erkennen.....	107
Abbildung 5.4: Mittelwert der Leistung mit Anlauf-, Leerlauf- und Auslaufleistung.....	108
Abbildung 8.1: Diagramm mit den Grenzwerten der Effizienzklassen [23, Seite 2].....	149
Abbildung 8.2: Technische Daten Motor Effizienzklasse 2, Werte der Firma Unitec AG, Kloten [24]......	151
Abbildung 8.3: Technische Daten Motor Effizienzklasse 1, Werte der Firma Unitec AG, Kloten [24]......	151
Abbildung 8.4: Diagramm mit den Effizienzklassen (EFF-Bereiche blau, grau und weiss) und Kurvenverläufe von am Markt erhältlichen Motoren. Quelle: Firma Unitec AG, Kloten [24]......	152
Abbildung 9.1: Arealübersicht.....	166
Abbildung 9.2: Schematische Übersicht der Produktions- und Infrastrukturbereiche.....	168

9.4 Literaturverzeichnis

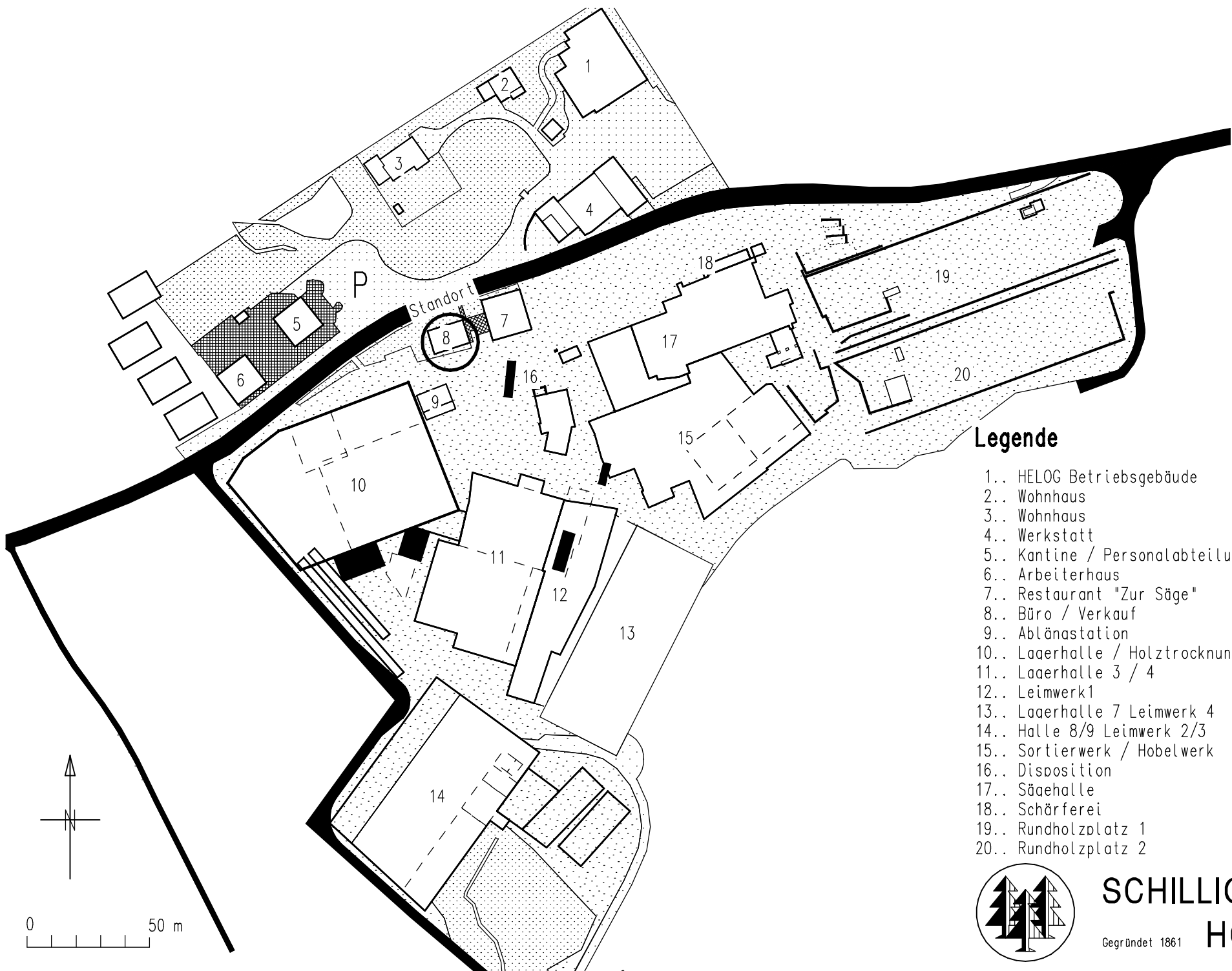
- [1] Gloor, Rolf: Energiesparmöglichkeiten in Sägereien; Materialien zu RAVEL; Form 724.397.21.08 D; 1996 / 07
- [2] Huser Alois: Mögliche Anwendungen elektrischer Produktionsverfahren in der Schweiz; Materialien zu RAVEL; Form. 724.397.12 .55.1 D; 1996 / 03
- [3] Dr. Nussbaumer Thomas, Dr. Good Jürgen, et al: Projektieren automatischer Holzfeuerungen; Impulsprogramm PACER Bundesamt für Konjunkturfragen; Form. 724.2370; 1995; ISBN 3-905232-63-4
- [4] Roland Walthert et al: Strom rationell nutzen, Umfassendes Grundlagewissen und praktischen Leitfaden zur rationellen Verwendung von Elektrizität; Herausgegeben vom Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, Impulsprogramm RAVEL; vdf Verlag der Fachvereine an den schweizerischen Hochschulen und Techniken, Zürich; 1992; ISBN 3 7281 1830 3
- [5] ServaTechnik; Dokumentation für Ingenieure, Planungsbüros und Druckluftanwender, Ausgabe Dezember 1998
- [6] Gloor, Rolf (Projektleitung): Antriebstechnik im Maschinenbau; RAVEL im Maschinenbau; Materialien zu RAVEL; Form. 724.333 D; 1995 / 06
- [7] Bahr, Michael: Taschenbuch Drucklufttechnik; Michael Bahr / Erwin Ruppelt; Vulkan Verlag, Essen; 2000; ISBN 3-8027-2188-8
- [8] Gloor Rolf: Energieeinsparungen bei Druckluftanlagen in der Schweiz; Schlussbericht Forschungsprojekt Programm Elektrizität; Bundesamt für Energie, CH-3000 Bern; Vertragsnummer: 73 503, Projektnummer: 33 564; Juli 2000
- [9] Feindiagnose im Hochbau; Impulsprogramm IP BAU; 1993; Bundesamt für Konjunkturfragen CH-3003 Bern; Form. 724.432d 3.93
- [10] Reichert Konrad, Neubauer Raimund E., Reiche Hans, Berg Fritz W.: Elektrische Antriebe energie-optimal auslegen und betreiben; Materialien zu RAVEL; Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen CH-3003 Bern; Form. 724.331d 6.93; Juni 1993
- [11] Müntz Franz: Wirkungsgradoptimierung der Druckluftherzeugung und -verteilung; Materialien zu RAVEL; Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen CH-3003 Bern; Form. 724.397.21.54; 1992 / 10
- [12] Bierbaum, Ulrich: Das Druckluft-Kompendium; 5. bearbeitete Auflage 2002, erschienen 1997 im VML-Verlag; ISBN 3 - 89646 - 003 - X (als pdf verfügbar auf <http://www.drucklufttechnik.de/>)
- [13] Sperlich, Volker: Übungsaufgaben zur Thermodynamik mit MathCAD®; Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München; 2002; ISBN 3-446-21603-0
- [14] Produkteunterlagen des Lastoptimierungssystems OPTOLOG mit der Software WinOPTO der Firma Klein und Partner. Lieferant für die Schweiz: ELKO Systeme AG, CH-4312 Magden AG
- [15] Gloor, Rolf: Druckluftoptimierung in einer Weberei; Jahresbericht Forschungsprojekt Programm Elektrizität; Bundesamt für Energie, CH-3000 Bern; Vertragsnummer: 82 336, Projektnummer: 42 445; Dezember 2001
- [16] energie extra; Informationen des Bundesamtes für Energie BFE und EnergieSchweiz; Ausgabe 6.03; Dezember 2003
- [17] Recknagel, Sprenger, Hönmann: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; Herausgeber Dr.-Ing.Winfried Hönmann; 65. Auflage 1990/1991; R. Oldenbourg Verlag München Wien, ISBN 3-486-35915-0

- [18] Produkteunterlagen der Firma Gebhard Hochleistungs-Radialventilatoren rotavent; Ausgabe 1; 6.95; Lieferant für die Schweiz: Bonotec AG, CH-3510 Konolfingen
- [19] SIA Empfehlung 384/2, Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden, Ausgaben 1982, SN 565 384/2; Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich
- [20] Kursordner Instandhaltungsfachmann; Unterlagen zur Ausbildung zum Instandhaltungsfachmann; Herausgeber: MFS (Maintenance and Facility-Management Society of Switzerland); Ausgabe 1999
- [21] Neue Technik im Bereich der Holz Trocknung; Informationsschrift zum Einsatz von Strahlpumpen in Holz Trocknungsanlagen, W. Bälz & Sohn GmbH, D-74076 Heilbronn
- [22] Grenzwerte am Arbeitsplatz 2003; Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte gesundheitsgefährdender Stoffe (MAK-Werte), Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte (BAT-Werte), Arbeitshygienische Grenzwerte für physikalische Einwirkungen; SUVA-Publikation, Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Abteilungen Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin; Bestellnummer: 1903.d; Januar 2003
- [23] Firmeninformation über Energiesparmotoren der Firma Schorch. Lieferant für die Schweiz: Elektron AG, CH- 8804 Au/Zürich. (<http://www.schorch.de/>)
- [24] Produkteunterlagen der Firma Unitec AG, Elemente der Antriebstechnik, CH - 8302 Kloten, (<http://www.unitec-ag.ch>)

9.5 Übersichten, Skizzen, Schemas

9.5.1 Arealübersicht

Nachfolgend ist als Übersicht ein Arealplan eingefügt.



Legende

- 1.. HELOG Betriebsgebäude
- 2.. Wohnhaus
- 3.. Wohnhaus
- 4.. Werkstatt
- 5.. Kantine / Personalabteilung
- 6.. Arbeiterhaus
- 7.. Restaurant "Zur Säge"
- 8.. Büro / Verkauf
- 9.. Ablänstation
- 10.. Laaerhalle / Holztrocknung
- 11.. Laaerhalle 3 / 4
- 12.. Leimwerk1
- 13.. Laaerhalle 7 Leimwerk 4
- 14.. Halle 8/9 Leimwerk 2/3
- 15.. Sortierwerk / Hobelwerk
- 16.. Disposition
- 17.. Säehalle
- 18.. Schärferei
- 19.. Rundholzplatz 1
- 20.. Rundholzplatz 2



**SCHILLIGER
HOLZ**
Gegründet 1861

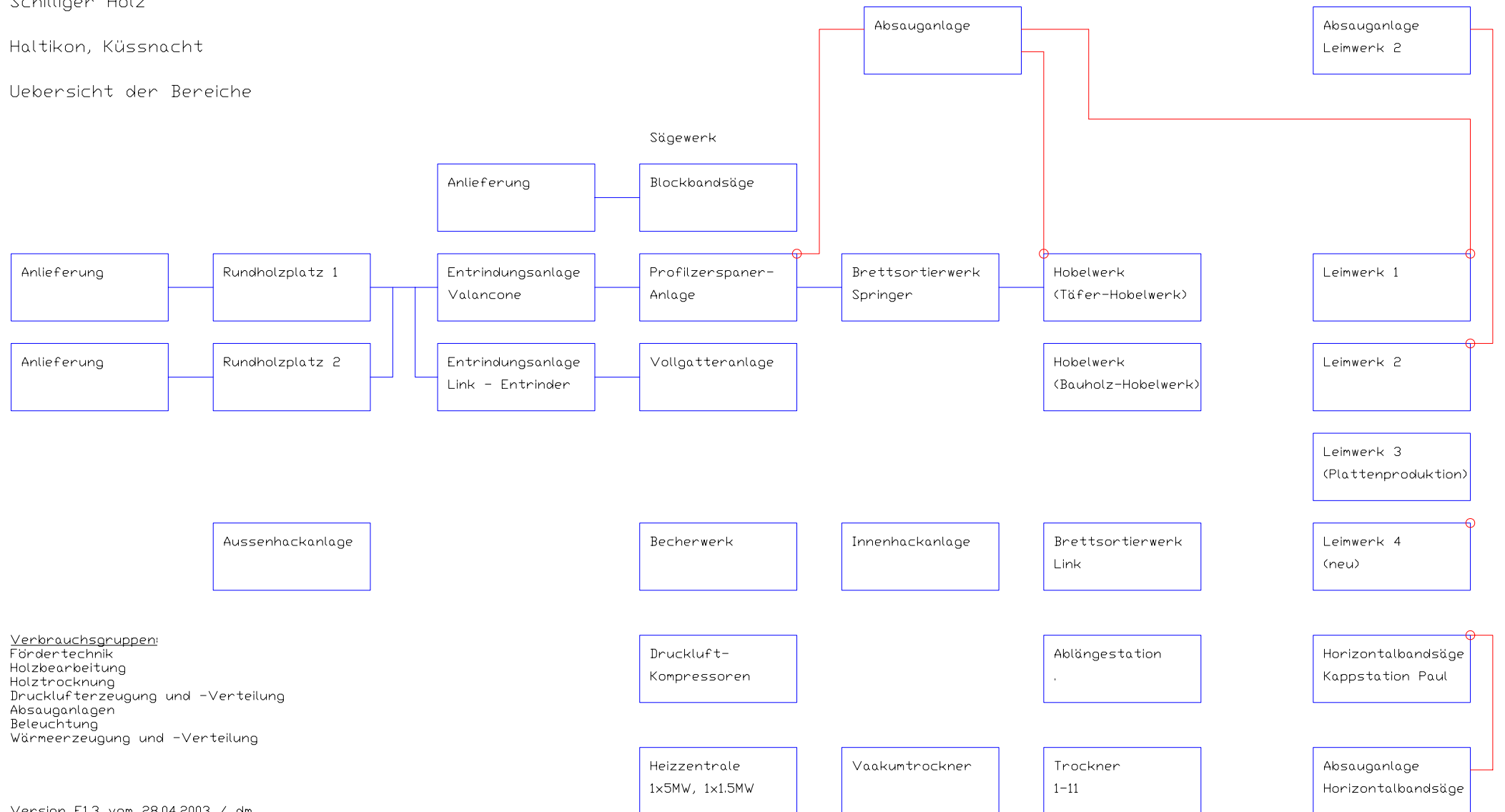
9.5.2 Übersicht der Produktions- und Infrastrukturbereiche

Nachfolgend ist eine schematische Übersicht der Produktions- und Infrastrukturbereiche eingefügt.

Schilliger Holz

Haltikon, Küssnacht

Übersicht der Bereiche



9.6 Verwendete Messgeräte

[A]	<p>Elektromessgerät "POWER QUALITY ANALYZER". Tragbares Messinstrument für die Messung und Analyse und Aufzeichnung an dreiphasigen Netzen.</p> <p>Fabrikat Metrel</p> <p>Lieferant Elko-Systeme AG, Thomas Künzli, Brüelstr. 47, 4312 Magden AG</p> <p> Tel. 061 845 91 45, Fax 061 845 91 40, http://www.elko.ch/</p> <p>Typ MI 2192 (FW ver: 5.01)</p>
-----	--

9.7 Verwendete Software

	Software name	Beschreibungen, Bemerkungen, Bezug
[S1]	<p>AHH Air Humid Handling Version 6.0</p>	<p>Berechnung aller lufttechnischer Prozesse mit Mollier- oder Carrier-h-x-Diagramm. Klima-, Komfort- und Regelbereiche erleichtern die Planung komplexer Installationen. Die Bestimmung der Amortisationszeit, gültig für alle Wärmerückgewinnungssysteme, wird unter Berücksichtigung des Kapitalzinses, der Zusatzinvestitionen, der Inflation, der jährlichen Unterhaltskosten und später anfallender Ersatzteilkosten ermittelt. Programmiert in MS Visual C++, läuft die Software unter Windows. Eine Version für sechs Sprachen: Dänisch, Deutsch, Englisch, Französisch, Italienisch, Holländisch.</p> <p>Bezug in der Schweiz: Zeller Consulting Suisse HVAC Solutions Jurastrasse 35 CH-3063 Ittigen Tel.: +41-(0)31-9220467 Fax.: +41-(0)31-9220432 http://www.zcs.ch/</p>

<p>[S2]</p>	<p>MathCAD 2000 Professional</p>	<p>MathCAD erlaubt die Interpretation von Text, Mathematik und Grafiken in einem einzigen Worksheet und erleichtert dadurch die Visualisierung, Illustration und Kommentierung der Berechnungsarbeit. Mit MathCAD lassen sich anspruchsvolle technische Berechnungen in der gleichen Art durchführen, wie sie auf Papier bearbeitet werden.</p> <p>Hersteller: http://www.mathsoft.com/</p> <p>Bezug über den Fachhandel, in der Schweiz z.B. bei: COMSOL AG Berner Technopark Morgenstrasse 129 CH-3018 Bern Tel. +41 (0)31 998 44 11 Fax. +41 (0)31 998 44 18 www.comsol.ch</p>
<p>[S3]</p>	<p>Meteonorm Version 3.0</p>	<p>Globale meteorologische Datenbank für Solarenergie und Angewandte Meteorologie.</p> <p>Bezug bei:</p> <p>Meteotest Fabrikstrasse 14 CH - 3012 Bern Switzerland</p> <p>Phone: +41 31 307 26 26 Fax: +41 31 307 26 10 www.meteotest.ch</p>

9.8 verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung	Bemerkungen
Amp.	Ampere (A): Einheit für die elektrische Stromgrösse	
CEMEP	Comité Européen de Constructeurs de Machines Electriques et d'Electronique de Puissance European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics	Europäischer Herstellerverband von elektrischen Maschinen und Leistungs- Elektronik. In diesem Verband sind z.B. auch Hersteller von Elektromotoren vertreten.
et al	et al. Abkürzung für: et alii (lat.: "und andere") zudem auch für: et alia (lat.: "und auf andere Weise") et alia/et aliud (lat.: "und anderes") et alias (lat.: "und ein andermal") et alibi (lat.: "und anderswo")	Quelle: Duden - Wörterbuch der Abkürzungen. Von Josef Werlin. 4., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag 1999.
FU	Frequenzumformer	Erklärung des Begriffes siehe "Verwendete Begriffe und Fachausdrücke"
z.B.	zum Beispiel	

9.9 Verwendete Begriffe und Fachausdrücke

Begriff	Erklärung	Quellenangabe, Bemerkungen
Betrachtungseinheit	<p>Begriff aus der Instandhaltung:</p> <p>Gegenstand einer Betrachtung, der jeweils nach Art und Umfang ausschliesslich vom Betrachter abgegrenzt wird.</p> <p>Beispiel: Die Betrachtungseinheit ist die Druckluftzerzeugung und Aufbereitung. Somit werden die Kompressoren, Trockner, Filter bis zur Grenze, wo die Druckluftverteilung beginnt, angeschaut.</p>	<p>[20; Kapitel "Grundlagen der Instandhaltung", Blatt 1.1.14]</p> <p>oder SN 113001/1 Instandhaltung und Tribologie, Begriffe und Definitionen, Juli 1980, Seite 2</p>
$\cos\varphi$	<p>Der Cosinus des Phasenwinkels φ. Der Wert des $\cos\varphi$ entspricht als Zahlenwert dem Leistungsfaktor (siehe auch Leistungsfaktor).</p>	
Frequenzumformer	<p>Gerät, welches die Anpassung der Frequenz von elektrischen Verbrauchern ermöglicht. Damit kann z.B. die Drehzahl des Motorantriebes eines Ventilators verändert und so stufenlos geregelt werden.</p>	
Isolationsklasse	<p>Die Isolationsstoffklasse beschreibt die zulässige Dauertemperatur der Wicklungsisolation. Klasse B (130 °C) gilt als Standard. Klasse F (155 °C) ist bei umrichter-gespiesenen Motoren empfehlenswert. Klasse H (180 °C) ist nur in besonderen Fällen erforderlich.</p>	[6, Seite 43]
Kaltleiter (PTC)	<p>Kaltleiter sind Halbleiterwiderstände, die temperaturabhängig sind. Der Widerstandswert wird bei ansteigen der Temperatur grösser.</p> <p>Bei dieser Art von Halbleiter erhält man durch die Gitteranordnung der Atome je ein freies Valenzelektron pro Atom. Diese Elektronen sind leicht beweglich. An einer Stromquelle angeschlossen, bewegen sich die freien Valenzelektronen zum Pluspol und bewirken die elektrische Leitfähigkeit. Kaltleiter haben einen positiven Temperaturkoeffizienten und werden deshalb auch PTC-Widerstände genannt.</p> <p>Nahezu alle Metalle sind Kaltleiter, da sie bei niedrigeren Temperaturen besser leiten.</p>	<p>http://www.elektronik-kompdi-um.de/sites/bau/0111051.htm</p>

	<p>An einem Versuch kann das gezeigt werden:</p> <p>Der Widerstandswert eines Drahtes wird über eine Strom- und Spannungsmessung bestimmt. Anschliessend wird der Draht erhitzt und die Widerstandsbestimmung wiederholt.</p> <p>Das Ergebnis dieses Versuches ergibt, dass Kaltleiter im kalten Zustand einen kleinen Widerstand, also eine gute elektrische Leitfähigkeit haben. Beim Erhitzen nimmt die Leitfähigkeit ab, der Widerstand wird grösser.</p>	
Kaltleiterschutz	<p>Motorschutz mit einem Kaltleiter. Mit dem Kaltleiter wird die Wicklungstemperatur des Elektromotors überwacht.</p>	
Leistungsfaktor	<p>Verhältnis von übertragener Wirkleistung zur auftretenden Scheinleistung</p> <p>Der Wert des Leistungsfaktors entspricht als Zahlenwert dem Wert des $\cos\phi$. (siehe auch $\cos\phi$)</p>	<p>Quelle: [10, Seite 132] siehe auch Messungen</p>
Sanftanlasser	<p>Gerät, welches zum sanften Starten und Stoppen von Drehstromasynchronmotoren eingesetzt wird. Einsatz z.B. für einen für sanften Start und Auslauf von Pumpen, Lüftern, Gebläsen, Kompressoren, Transportbändern, Sägen, Fräser usw. sorgt. Neben dem Starten von Motoren, ähnlich den klassischen Anlassern wie z.B. Stern- /Dreieckanlauf, bieten Sanftanlasser ergänzend noch zahlreiche Schutz und Überwachungsfunktionen.</p> <p>Je nach Bauart und Ausführung ermöglichen Sanftanlasser einen lastunabhängigen Start von Drehstromasynchronmotoren mit einstellbaren Parametern. Der eingestellte Anlaufstrom wird dabei immer vom Gerät kontrolliert und überwacht.</p> <p>Im Bereich von Pumpenapplikationen ermöglicht eine Drehmomentensteuerung neben dem Start auch einen geführten linearen Auslauf ohne Druckschläge im Rohr- Anlagensystem bis zum Stillstand. Dies spart in vielen Fällen den Frequenzumrichter.</p> <p>Falls vorhanden ermöglicht eine vorwählbare integrierte Bremsfunktion das Abbremsen der Maschine bis zum Stillstand ohne weitere externe Komponenten.</p>	<p>Auszüge aus den Produkteunterlagen und Beschreibungen der Firma Schneider Electric</p> <p>http://www.schneider-electric.de/produkte/</p>

	<p>Weitere Optionen sind:</p> <ul style="list-style-type: none">- Dreieckschaltung, Einbau des Sanftanlassers in die Dreieckswicklung des Motors. Dies erhöht die Leistung um den Faktor Wurzel 3. Ideal bei schwierigen Platzverhältnissen oder beim Nachrüsten alter Stern/Dreieck Starter anstelle des Dreieckschützes.- Integrierte, kundenspezifisch einstellbare Schutz- und Überwachungsfunktionen, wie Unterlast, Überlast, Betriebstundenzähler, Phasenausfall, Phasenunsymmetrie, thermischer Schutz des Motors durch Berechnung oder durch Anschluss eines PTC-Fühlers. Solche Funktionen können zum Schutz von Maschine, Anlage und Motor eingesetzt werden.	
Wirkleistung	<p>Die Wirkleistung P ist die Leistung, welche Arbeit verrichtet und daher den Verbraucher interessiert. Sie wird umgewandelt in z.B. mechanische, Heiz-, oder chemische Energie. Sie wird in Watt [W] gemessen.</p>	

9.10 Weiterführende Webseiten

	Adresse	Beschreibungen, Bemerkungen
[a]	http://www.druckluft-effizient.de/	Das Projekt "Druckluft effizient" ist eine gemeinsame Initiative von dena, Fraunhofer ISI und VDMA. Das Projekt wird getragen durch 19 Industrieunternehmen aus dem Bereich der Drucklufttechnik und erhält eine finanzielle Förderung durch das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) in Deutschland.
[b]	http://www.drucklufttechnik.de/	Diese Seite gibt Tipps zum Thema Druckluft, verfügt über einen Formelrechner, ein Kompendium Druckluft [12], welches als pdf verfügbar ist und vieles mehr. Die Seite wurde im 2002 von Mondus als Top-Business Site ausgezeichnet und ist ein Service der Firma Boge.
[c]	http://www.ckw.ch/02_datavista.asp	Mit der Option Datavista erhalten CKW - Kunden Online-Zugriff auf den SILOWEB® Datenserver. Damit verfügen die Kunden über ein benutzerfreundliches Kontroll- und Planungsinstrument, welches das Stromdatenmanagement unterstützt und optimiert. Bei der angegebenen Webadresse kann ein Musterkunde angewählt und das Werkzeug Datavista eins zu eins ausprobiert werden.
[d]	www.electricity-research.ch	Informationen des Bundesamtes für Energie über das Programm „Elektrizität“
[e]	http://www.energie-schweiz.ch/	Informationen über die Aufgaben des Bundesamtes für Energie (BFE), über das Programm "EnergieSchweiz" und das energie- und klimapolitische Programm des Bundesrates.

9.11 Angaben zu den Autoren des Berichtes

Iso Wyrsh



Ausbildung zum Dipl. Masch. Ing. ETH, eigenes Ingenieurbüro für Maschinenbau seit 1987, nebenamtlicher Dozent für Mechanik und Festigkeit an der HTA Luzern

Anschrift:

Wyrsh Technologies
Iso Wyrsh
Haltikon 44
CH - 6403 Küssnacht am Rigi

Tel +41 (0)41 850 51 91

Fax +41 (0)41 850 51 04

iso.wyrsh@wyrstech.ch

www.wyrstech.ch

Markus Dolder



Ausbildung zum Dipl. HLK Ing. HTL am Abendtechnikum der Innerschweiz in Horw-Luzern (jetzt Fachhochschule Zentralschweiz), eigenes Ingenieurbüro für Energie- und Gebäudetechnik seit 1993.

Anschrift:

Ingenieurbüro Dolder
Markus Dolder
Pelikanstrasse 7
CH - 6004 Luzern

Tel +41 (0)41 422 00 22

Fax +41 (0)41 422 00 25

info@dolder-ing.ch

www.dolder-ing.ch

Die Autoren stehen Interessierten für Fragen und weitere Ausführungen zur Verfügung und nehmen Anregungen gerne entgegen.

Die vorliegende Dokumentation kann unter www.electricity-research.ch oder auf den Webseiten der Autoren als pdf-Datei kostenlos bezogen werden.

9.12 Verteiler, Änderungs-, Versionsübersicht

Version P1.3

Buchstabe bei Version gibt den Projektstand an:

E: Entwurf
 F: gültig für Offerte
 P: gültiges Projektpapier
 A: gültig für Ausführung
 B: Revisionsunterlagen, Anlage dem Betrieb übergeben

Datum: 07.01.2005

Bemerkungen zu den Versionen und Änderungen:

Version E1.1	vom 17.03.2003 / dm	Dokument im Entwurf als Arbeitspapier erstellt
Version E1.2	vom 28.04.2003 / dm	Überarbeitung und Ergänzung des Arbeitspapiers, Kapitel neu geordnet, wesentliche Ergänzungen, Kapitel Zusammenstellung der Bereiche im Entwurf fertiggestellt, Einarbeiten der Massnahmen aus den Besprechungen
Version E1.3	vom 12.08.2003 / dm	Überarbeitung und Ergänzung des Arbeitspapiers, Eintragung der Messungen und Messnahmen Druckluft und Absauganlagen
Version E1.4	vom 24.09.2003 / dm	Überarbeitung und Ergänzung des Arbeitspapiers, Eintragung der Messungen Entsorgung, Nachführen des Berichtes
Version E1.5	vom 25.11.2003 / dm	Überarbeitung und Ergänzung des Arbeitspapiers, Eintragung der Messungen Entsorgung, und Keilzinkenanlage, Nachführen des Berichtes
Version E1.6	vom 04.12.2003 / dm	Überarbeitung und Ergänzung des Arbeitspapiers, Eintragung der Erfolgsmessungen Druckluft, Nachführen des Berichtes
Version E1.7	vom 11.12.2003 / dm	Überarbeitung und Ergänzung des Arbeitspapiers, Nachführen des Berichtes, Einarbeiten Angaben generatorischer Betrieb von Iso Wyrsh, als Korrektorexemplar Entwurf Schlussbericht verteilt
Version E2.1	vom 12.12.2003 / dm	Papier als Entwurf Schlussbericht erstellt und verteilt
Version P1.1	vom 19.12.2003 / dm	Korrekturen und Ergänzungen von Iso Wyrsh eingearbeitet, Ergänzung Kapitel Rückführung der sauberen Abluft zurück in den Produktionsraum, Ergänzung Kapitel Verminderung von Reibung, Ergänzung Kapitel Beleuchtung, Fertigstellung des Schlussberichtes Einfügen der Übersetzungen der Zusammenfassung französisch, englisch, italienisch. Liste in Kapitel 4.19 ersetzt, Zusammenfassungen korrigiert, Korrekturen in Tabellen Kap. 4.2.4, 4.7.2, 4.8.2, andere Formulierung in Kap. 4.1.1.1. Kapitel "Übersicht der Produktions- und Infrastrukturbereiche" in Kapitel 9 integriert. Kapitel 7+8 in Version P1.2 verschieben sich in Version P1.3 zu Kapitel 6+7. Neues Kapitel 8 mit Inhalt "Hinweise zum Anlagenbau und zur Auswahl von Komponenten" erstellt. In Kapitel 3.1.4 neue Grafik eingefügt. Ergänzungen im Kap. 9.11.
Version P1.2	vom Dezember 2003 / dm	
Version P1.3	vom 07.01.2005 / dm	

Verteiler:

Name	Firma	Version E1.1	Version E1.2	Version E1.3 bis E1.6	Version E1.7	Version E2.1	Version P1.1	Version P1.2	Version P1.3	Version	Version
Ernest SCHILLIGER	Schilliger Holz AG		(B)	(B)		P		A	A		
Roland BRÜNIGER ¹	R. Brüniger AG					P, A	A	A	A		
BFE ²								A	A		
Iso WYRSCH	Wyrsh Technologies	A	A	(B)	A	P, A	A	A	A		
Markus DOLDER	Ing. Büro Dolder	E, O	E, O	E, O	E, O	E, O	E, O	E, O	E, O		

¹ Projektbegleiter

² via R. Brüniger AG

- P hat ganzes Dokument in Papierform erhalten
- (P) hat Auszug aus Dokument erhalten
- F hat ganzes Dokument als Fax erhalten
- (F) hat Auszug aus Dokument als Fax erhalten
- K hat Korrekturen erhalten
- A hat Dokument im Dateiformat pdf erhalten
- W hat Dokument im Dateiformat doc erhalten
- (B) Thema wurde an Besprechung mit Bericht erläutert
- E Ersteller des Dokumentes
- O hat Original resp. Datei

Schilliger_Bericht_P1-3_(2005-01-07).doc